Phys. sp.
718
l

Phys. sp.
718 l

Weber

# FÜNF POPULÄRE

# WISSENSCHAFTLICHE VORTRÄGE

GEHALTEN IN DER

AULA DER HERZOGLICHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE

ZU BRAUNSCHWEIG

VON


## Dr. HEINRICH WEBER,

Professor der Physik an der Herzogl. technischen Hochschule.


---

MIT 84 ILLUSTRATIONEN.

---


BRAUNSCHWEIG,

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1887.



25 M

# FÜNF POPULÄRE

# WISSENSCHAFTLICHE VORTRÄGE

GEHALTEN IN DER

AULA DER HERZOGLICHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE

ZU BRAUNSCHWEIG.

P a p i e r

aus der mechanischen Papier-Fabrik

der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen

bei Braunschweig.

# FÜNF POPULÄRE

# WISSENSCHAFTLICHE VORTRÄGE

GEHALTEN IN DER

## AULA DER HERZOGLICHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZU BRAUNSCHWEIG

VON


## Dr. HEINRICH WEBER,

**Professor der Physik an der Herzogl. technischen Hochschule.**


---

MIT 84 ILLUSTRATIONEN.

---


BRAUNSCHWEIG,

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1887.

Alle Rechte vorbehalten.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS

# VORWORT.

Wenn es zweifellos ist, dass Vorträge populären wissenschaftlichen Inhaltes aus dem Gebiete der Physik, theils durch das gesprochene Wort, theils durch die Vorführung von Apparaten und Experimenten leichter verständlich werden als Druckschriften ähnlichen Inhaltes, so ist es andererseits nicht minder wahr, dass bei Druckschriften der Leser in die Lage versetzt wird, einzelne Begriffe, Beschreibungen, Erklärungen je nach Bedürfniss sich jeder Zeit wieder in das Gedächtniss zurückrufen zu können.

Die nachfolgenden Vorträge, welche veröffentlicht werden so, wie sie seiner Zeit gehalten wurden, werden vielleicht manchem Zuhörer nicht unwillkommen sein, um die Erinnerung an den oder jenen in den Vorträgen behandelten Gegenstand wieder aufzufrischen. Um dieselben jedoch auch weiteren Kreisen zugänglich zu machen, habe ich versucht, durch Einfügung zahlreicher Abbildungen dem Leser die eigene Anschauung der Apparate nach Möglichkeit zu ersetzen. Dabei wurde der „Skizze“, gegenüber vollständig ausgeführten Zeichnungen, der Vorzug gegeben, weil diese den Gegenstand, um den es sich handelt, schärfer hervortreten lässt.

Von den fünf Vorträgen wurden die ersten vier im Winter 1885/86 gehalten. Sie bilden einen Cyclus, durch welchen die wichtigsten praktischen Anwendungen der Elektricitätslehre den Zuhörern in kurzer und leichtfasslicher Weise vorgeführt werden sollten. Der fünfte Vortrag steht mit den vorhergehenden in keinem directen Zusammenhange, derselbe wurde zwei Jahre früher gehalten.

Wer Vorträge von ähnlicher Art, wie die nachfolgenden, gehalten hat, weiss, dass „kurz“ und „leichtfasslich“ Anforderungen sind, von denen die eine der anderen meist widerstrebend ist. Möchte es mir gelungen sein, den richtigen Mittelweg eingeschlagen zu haben.

**Der Verfasser.**

# INHALT.


| | | Seite |
|---|---|---|
| 1. | Uebersicht über die Entstehung und die Wirkungen des galvanischen Stromes | 1 |
| 2. | Telegraphie und Telephonie | 28 |
| 3. | Elektromagnetische, magnetelektrische und Dynamo-Maschinen | 60 |
| 4. | Galvanoplastik und elektrisches Licht | 95 |
| 5. | Ueber das Perpetuum mobile | 123 |

# Erster Vortrag.

## Uebersicht über die Entstehung und die Wirkungen des galvanischen Stromes.

---

Wer jemals von Ihnen das herrliche Lauterbrunner Thal von Interlaken nach Lauterbrunnen gewandert ist, wobei sich dem Blicke des Beschauers die Jungfrau „die in Ewigkeit verschleierte“ in ihrer ganzen Herrlichkeit mit dem Silber- und Schneehorn darbietet, wer sodann von Lauterbrunnen aus nach links auf die Wengernalp oder nach rechts auf den steilen Mürren gestiegen ist, wer hätte da nicht den Eindruck des Riesenhaften, des Kolossalen erhalten? Scheinbar unbedeutende Felsmassen, Spitzen, Klüfte wachsen bei dem Aufstiege zur Wengernalp oder zu dem Mürren zu Gebirgsrücken, zu weit vorspringenden Bergkegeln, zu tiefen Schluchten und Thälern, welche durch unabsehbare Schneefelder mit einander verbunden sind. Je näher der Wanderer dem Bergkolosse kommt, je höher er hinansteigt, um so mehr werden seine Erwartungen durch die Wirklichkeit übertroffen.

Es ist nicht zu viel gesagt, wenn ich behaupte, dass dieses Bild unmittelbare Anwendung findet auf denjenigen Theil der Naturwissenschaft, der in den letzten funfzig Jahren zu einem Koloss angewachsen ist, oder der sich durch andauernde Erforschung als solcher erwiesen hat, den Theil, den man unter dem Namen Elektricität zusammenfasst.

Wer sich nicht damit begnügt, von der Ferne aus die wahrlich grossartigen Erfolge der Elektricitätslehre zu betrachten, wie sie heute überall im öffentlichen Leben zu Tage treten, wer

sich vielmehr die Aufgabe stellt, in das Gebiet selbst einzudringen, der wird vor seinen geistigen Augen ein weites und grossartiges Bild sich aufrollen sehen, dessen Grenzen sich erst in weiter Ferne verlieren. Freilich werden sich seinem Vordringen viele vorher nicht geahnte Hindernisse entgegenstellen, sein Weg führt über rauhe Felder, an tiefen Abgründen vorbei. Ja, gestehen wir es offen, je weiter er vordringt, desto sparsamer werden die gangbaren Wege, bis sie sich endlich ganz verlieren. Den Gipfel erreicht der Wanderer nicht!

Lassen Sie uns eine Excursion in dieses Gebiet unternehmen und dabei solche Wege einschlagen, welche über Höhen führen, die einen möglichst weiten Ausblick gestatten. Der verhältnissmässig kurze Weg von nur wenigen Stunden gestattet weder alle wünschenswerthen Punkte aufzusuchen, noch sich bei den einzelnen Fernsichten allzulange aufzuhalten. Nicht immer ist hierbei der gerade Weg der beste. Es empfiehlt sich häufig, Umwege zu machen, um allzu steile Anstiege zu vermeiden.

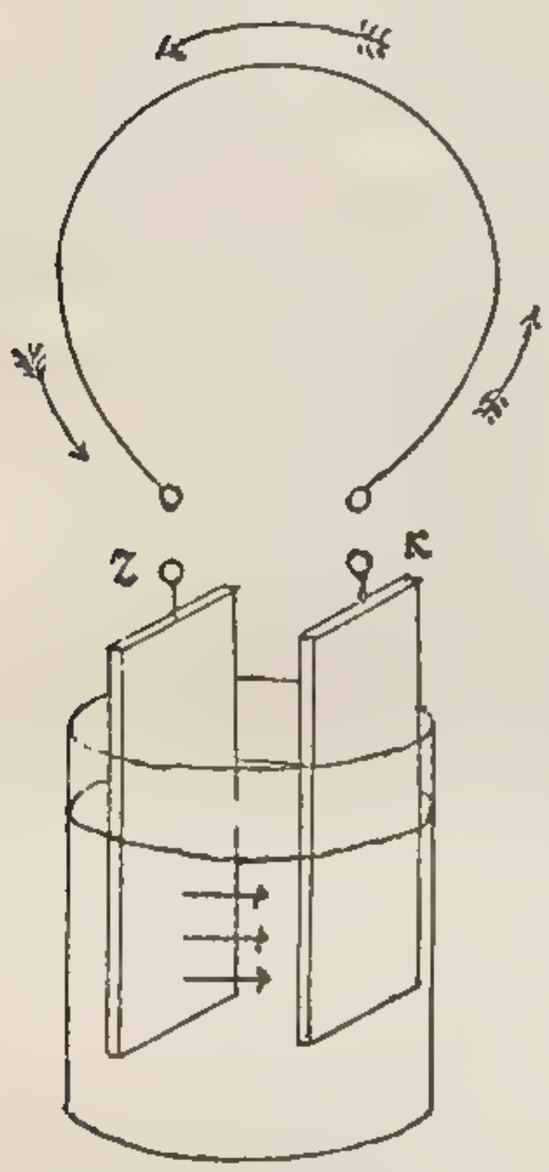
Im Jahre 1790 entdeckte Aloysius Galvani, Arzt und Anatom in Bologna, den Galvanismus. Die Erscheinung, dass ein präparirter Froschschenkel bei Berührung mit verschiedenen Metallen Zuckungen ausführte, erklärte er durch thierische Elektricität und erst vier Jahre später fand Alexander Volta den wahren Grund der Erscheinung. Er zeigte durch einen berühmten Versuch, der noch heute der wichtigste Fundamentalversuch für den Galvanismus ist, dass durch blosse Berührung zweier Platten aus verschiedenem Metall, die eine sich mit positiver, die andere sich mit negativer Elektricität ladet. Bringt man eine Zink- und eine Kupferplatte, beide mit isolirten Handgriffen versehen, mit einander in Berührung, und trennt sie sodann, so enthält die Zinkplatte eine schwache Ladung positiver, die Kupferplatte eine gleichgrosse Ladung negativer Elektricität.

Eine solche Ladung bildet sich auch, wenn man zwischen die Platten einen feuchten Leiter, z. B. angefeuchtetes Papier, bringt, oder wenn man die Zink- und Kupferplatte in ein Gefäss mit Wasser taucht. Die positive Elektricität geht dabei vom Zink durch das Wasser zum Kupfer über, die negative Elektricität vom Kupfer durch das Wasser zum Zink, so dass die hervorragenden Enden der Kupfer- und Zinkplatte, welche Pole ge-

nannt werden, mit positiver, respective negativer Elektricität geladen sind.

Eine solche Vorrichtung führt den Namen „galvanisches Element“. Hier ist ein solches aufgestellt und in Fig. 1 abgebildet. Werden jetzt die Pole durch einen Draht mit einander verbunden, so vereinigen sich die beiden entgegengesetzten Elektricitäten. Da aber durch das galvanische Element in jedem Augenblick der Kupferpol von Neuem positiv, der Zinkpol negativ geladen wird, so findet dauernd ein Ueberströmen von positiver Elektricität vom Kupfer durch den Draht nach dem Zinke, und von negativer Elektricität vom Zink durch den Draht nach dem Kupfer statt. Diese dauernde Strömung heisst „galvanischer Strom“. Es ist dabei wichtig zu bemerken, dass die positive Elektricität stets in der Richtung vom Kupferpol durch den Draht nach dem Zinkpol strömt. Wenn man schlechthin von der Richtung des Stromes spricht, versteht man stets die Richtung, in welcher sich die positive Elektricität bewegt.

Fig. 1.

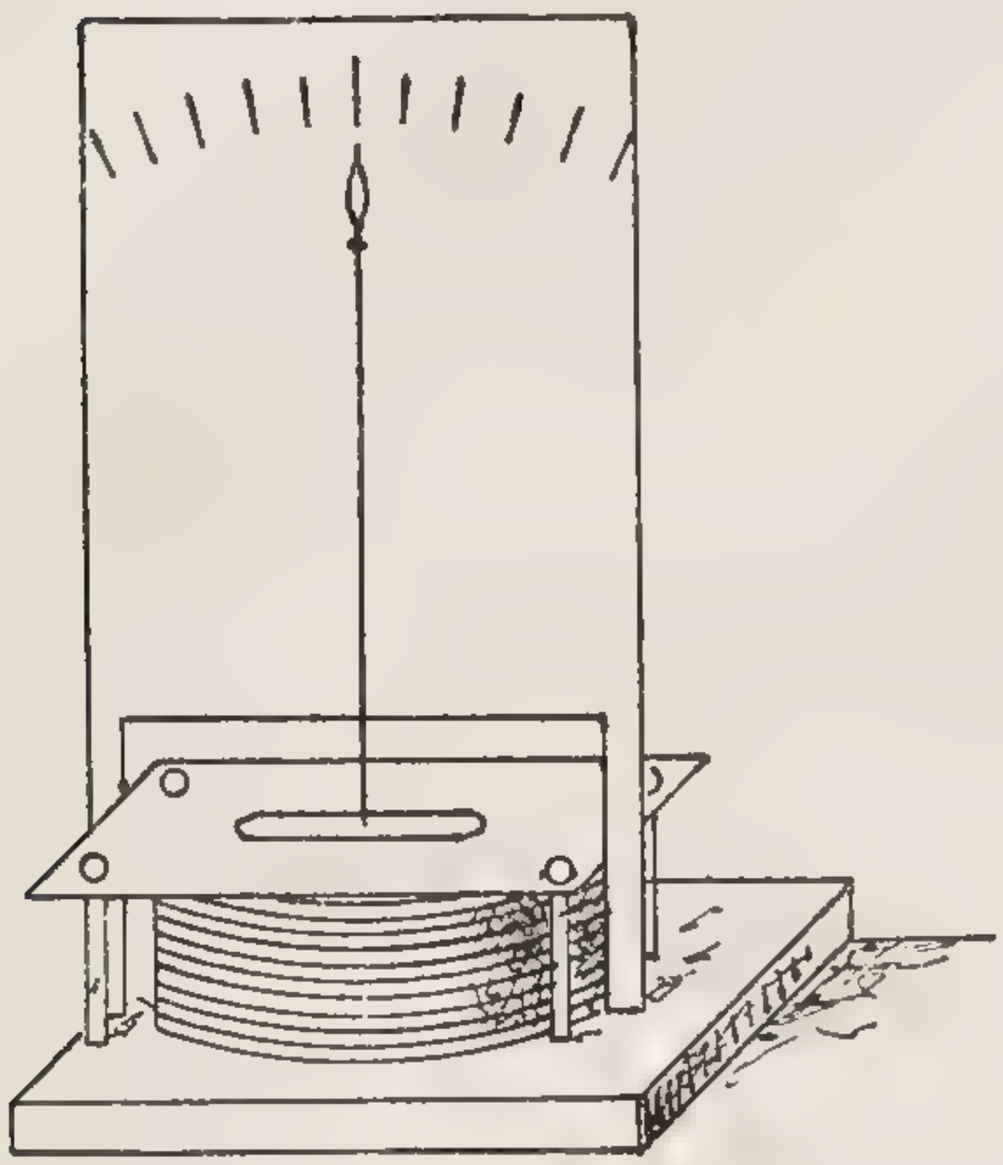



Von dieser Thatsache können wir uns leicht überzeugen. Ich habe hier ein Instrument, ein sogenanntes Galvanometer, aufgestellt. Dasselbe besteht (Fig. 2, a. f. S.) aus einer Anzahl Drahtwindungen, welche um einen leicht drehbaren Magnet herumgeführt sind. An dem Magnet ist ein langer nach oben gehender Zeiger befestigt, welcher auf eine Gradeintheilung einspielt. Geht durch die Windungen ein Strom, so wird der Magnet je nach der Richtung, in welcher der Strom die Windungen durchfliesst, nach rechts oder nach links abgelenkt. Stellen wir die Verbindung mit dem galvanischen Elemente her, so erfolgt die Ablenkung nach rechts. Lassen wir den Strom in entgegengesetzter Richtung die Windungen durchlaufen, so lenkt die Nadel nach links ab.

Wir haben in dem Elemente eine Vorrichtung gewonnen, durch welche wir galvanische Ströme erzeugen können. Wie

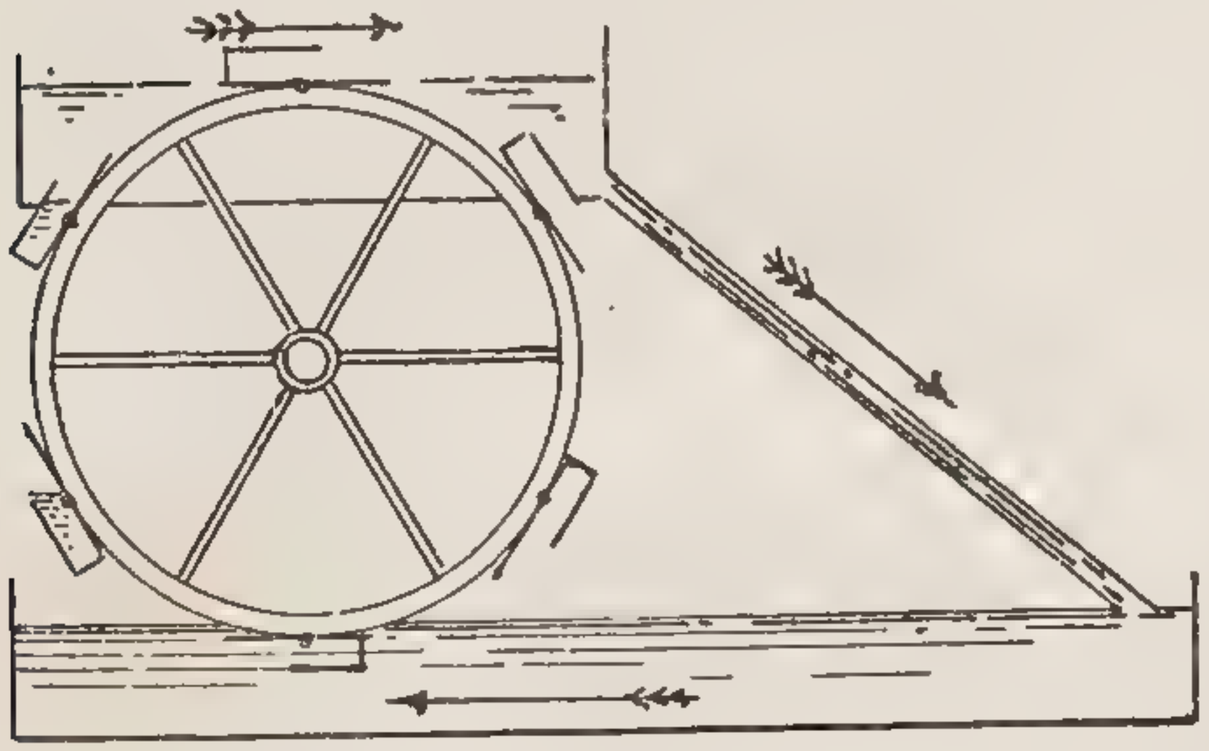
aber erklärt sich denn die Entstehung des Stromes? Bliebe das Element, während es Strom liefert, ungeändert, so besässen wir in ihm ein Perpetuum mobile. Denn wie wir sehen werden, kann man durch den galvanischen Strom Wärme, Licht, mechanische Arbeit leicht erzeugen, und wir hätten alle diese Wirkungen aus Nichts hervorgerufen. Ich will versuchen, ein anschauliches Bild eines galvanischen Stromes zu geben, indem ich an die Stelle der nicht sichtbaren Elektricität Wasser setze.

Fig. 2.



Es befinde sich ein kleines Wasserreservoir in einer bestimmten Höhe über einem grösseren, wie Fig. 3 zeigt, und beide seien durch eine schräg nach unten laufende Röhre mit einander verbunden. Ausserdem sei noch eine Vorrichtung vorhanden, z. B. ein Schöpfrad, durch welches innerhalb einer bestimmten Zeit immer genau dieselbe Wassermenge von dem unteren Reservoir zu dem oberen emporgehoben wird, welche in derselben Zeit durch die Röhre aus dem oberen Reservoir in das untere fliesst. Offenbar wird das Wasser dauernd einen Kreislauf beschreiben. Es fliesst aus dem oberen Reservoir durch die Röhre in das untere Reservoir und wird von da wieder durch das Schöpfrad in das obere gehoben. Damit nun das Wasser dauernd seinen Kreislauf beschreibe, muss das Schöpfrad dauernd

Fig. 3.



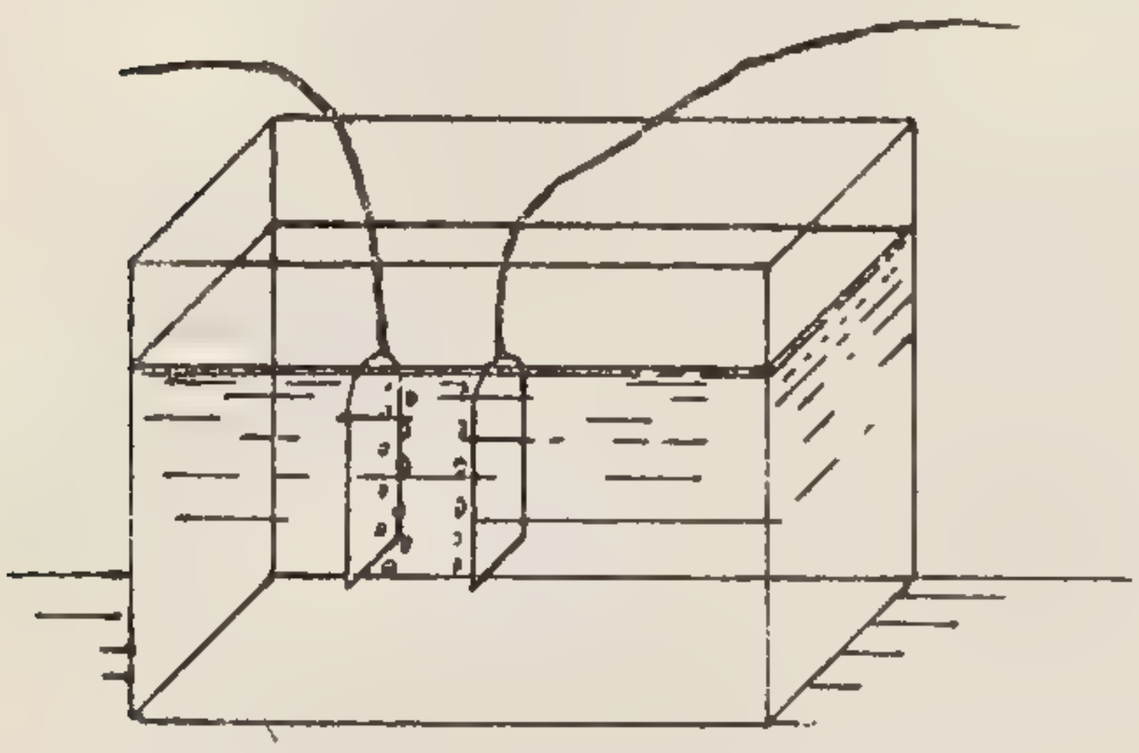
durch irgend einen Motor — wir wollen annehmen durch eine Dampfmaschine — gedreht werden. Zur Unterhaltung der Dampfmaschine bedürfen wir aber pro Stunde einer bestimmten Quantität Kohlen, und wir können daher sagen, damit das Wasser dauernd circulire, muss pro Stunde eine bestimmte Quantität Kohlen aufgewendet werden.

Ganz ähnlich verhält sich der galvanische Strom. Das Wasser wird durch die Elektricität ersetzt; die Röhre, in der dasselbe fliesst, ist der Verbindungsdraht zwischen den Polen. Die beiden Reservoire mit dem Schöpfrad und der Dampfmaschine ist das galvanische Element. Die Höhendifferenz der beiden Niveaus — das sogenannte Gefälle —, von welchem die Geschwindigkeit und die Intensität des Wasserstromes abhängt, ist die Spannungsdifferenz der beiden in den Polen des Elementes angesammelten Elektricitäten oder die sogenannte elektromotorische Kraft. Endlich, wie der Wasserstrom zu seinem Bestehen pro Stunde einen bestimmten Aufwand an Kohlen bedarf, findet auch im Elemente ein Consum statt. Eine genauere Beobachtung zeigt nämlich, dass, so lange der galvanische Strom circulirt, eine bestimmte Menge Zink consumirt, d. h. aufgelöst wird. Der galvanische Strom entsteht folglich nicht von selbst, sondern erfordert zu seinem Bestehen pro Stunde die Auflösung einer bestimmten Menge Zink. Das Zink spielt bei dem Element dieselbe Rolle, wie die Kohle bei der Wassermaschine. Aber ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden Vorrichtungen besteht dennoch. Bei der Wassermaschine wissen wir ganz genau, wie durch die Verbrennung der Kohle mittelst der Dampfmaschine und dem Schöpfrad das Wasser aus dem tieferen Niveau in das höhere Niveau gelangt, bei dem galvanischen Element dagegen ist der entsprechende Vorgang, wie aus der Auflösung des Zinkes die elektrische Spannung in den Polen hervorgeht, noch gänzlich in Dunkel gehüllt. Mit anderen Worten: Bei der Theorie des galvanischen Elementes ist noch die Dampfmaschine und das Schöpfrad zu entdecken.

Wenn wir den Verbindungsdraht zwischen den Polen des Elementes an irgend einer Stelle unterbrechen, so hört der Strom sofort auf. Die an der Unterbrechungsstelle befindliche Luft leitet den Strom nicht. Wenn wir aber zwischen die Enden

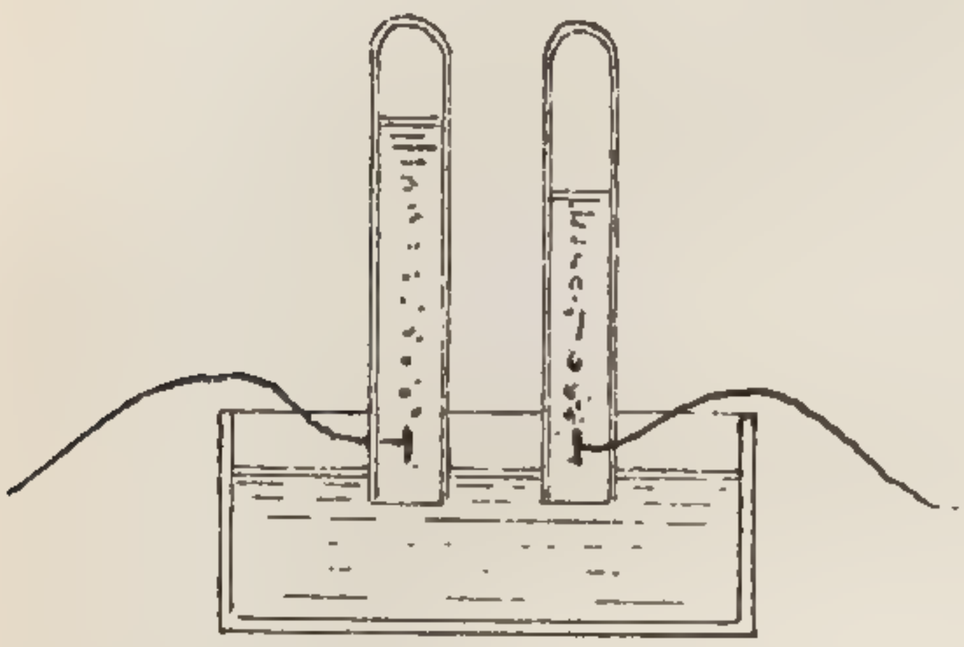
irgend einen Leiter bringen, so können wir den Strom zwingen, durch denselben hindurchzugehen. Verbinden wir z. B. mit jedem Ende der unterbrochenen Leitung eine kleine Platinplatte und senken dieselbe in ein Gefäss mit Wasser, Fig. 4, dem wir zur besseren Leitungsfähigkeit etwas Schwefelsäure zugesetzt haben, so geht dann der Strom durch das Wasser hindurch.

Fig. 4.



Um die Erscheinung, die dabei eintritt, weithin sichtbar zu machen, entwerfen wir von dem Apparat ein vergrössertes, optisches Bild, das sich von der Wirklichkeit nur dadurch unterscheidet, dass dasselbe den Apparat auf dem Kopfe stehend zeigt. Sie sehen hier die beiden Drahtenden mit ihren Platinplatten, die sogenannten Elektroden. Lassen wir jetzt den Strom durch die Vorrichtung hindurchgehen, so zeigt sich an den beiden Platinplatten eine lebhafte Gasentwickelung.

Fig. 5.



Wir wollen den Versuch noch in anderer Weise wiederholen. Sie sehen hier im Wesentlichen denselben Apparat, Fig. 5, nur sind über die Platinplatten oben geschlossene, mit Wasser gefüllte Röhren gestülpt, in welchen das sich entwickelnde Gas aufgefangen wird. Da jede Röhre nur dasjenige Gas aufnimmt, welches an der unter ihr befindlichen Platinplatte frei wird, so kann man leicht die Gasarten untersuchen. Man findet dann, dass die eine Gasart Wasserstoff, die andere Sauerstoff ist. Und da das Wasser eine chemische Verbindung dieser Gasarten ist, so schliessen wir, dass das Wasser bei dem Durchgange des Stromes in seine Bestandtheile, Sauerstoff und Wasserstoff, zerlegt wird. Wir

kommen so zu der Kenntniss der ersten, wichtigen Wirkung des galvanischen Stromes, welche auch historisch zuerst entdeckt wurde, nämlich zu der chemischen Wirkung.

Als Entdecker der Wasserzersetzung ist ohne Zweifel Dr. Asch zu Oxford anzusehen, welcher bereits im Jahre 1795 seine ersten Versuche ausführte. Jedoch wurde die Erscheinung erst später durch Nicholson und Carlisle im Jahre 1800 genauer untersucht und weiteren Kreisen zur Kenntniss gebracht. Es ist natürlich, dass man nach der Entdeckung der Wasserzersetzung sofort auch andere chemische Flüssigkeiten auf ihr Verhalten dem galvanischen Strome gegenüber prüfte; und man gelangte so bald zu dem Satze: dass der galvanische Strom überhaupt jede chemisch zusammengesetzte Flüssigkeit, welche den Strom leitet, in seine Bestandtheile zerlegt, d. h. man legte den Grund zu einem wichtigen Abschnitt der Elektricitätslehre, zur Elektrolyse.

Die Geschichte der Wissenschaften zeigt häufig, dass Fortschritte in der einen Wissenschaft auch Schwester-Wissenschaften zum Vortheil gereichen. Die chemischen Wirkungen des galvanischen Stromes oder die Elektrolyse liefert hierfür ein hervorragendes Beispiel. Denn schon unmittelbar nach ihrer Entdeckung gelang es Davy, welcher unzählig viele Lösungen, namentlich auch Metallsalzlösungen, der Einwirkung des galvanischen Stromes unterwarf, im Jahre 1807, auf elektrolytischem Wege aus Kalihydrat und Natriumhydroxyd das Kalium und das Natrium und bald darauf das Baryum, das Strontium, das Calcium aus den Chlorverbindungen dieser Metalle herzustellen, während vor ihm die Alkalien und alkalischen Erden für chemisch einfache Körper angesehen wurden. Aber auch nach den Forschungen allerneuesten Datums ist die Elektrolyse in Verbindung mit der neueren Anschauung über das Wesen der Wärme ganz besonders berufen, tiefere Einblicke in die innere Mechanik der chemischen Processe zu gewähren.

Bei der Wasserzersetzung zeigt sich, dass die Wasserstoff- und Sauerstoffentwickelung nicht willkürlich an den beiden Platinplatten vor sich geht, vielmehr entwickelt sich der Sauerstoff stets an derjenigen Platinplatte, durch welche der galvanische Strom ein-, der Wasserstoff an derjenigen, durch welche

der Strom aus dem Wasser austritt. Wegen dieses Verhaltens hat Faraday den Platten verschiedene Namen gegeben. Er nennt die erstere die Anode, die letztere die Kathode. Bringt man nun zwischen die Anode und Kathode an Stelle des Wassers irgend eine Metallsalzlösung, so zeigt sich, dass der metallische Bestandtheil immer an der Kathode für sich allein ausgeschieden wird. Sie überzieht sich dabei mit einer dünnen Schicht jenes Metalles, welches die Lösung enthält. Die übrigen Bestandtheile scheiden sich an der Anode aus. Diesem Umstande verdankt die Galvanoplastik ihr Bestehen.

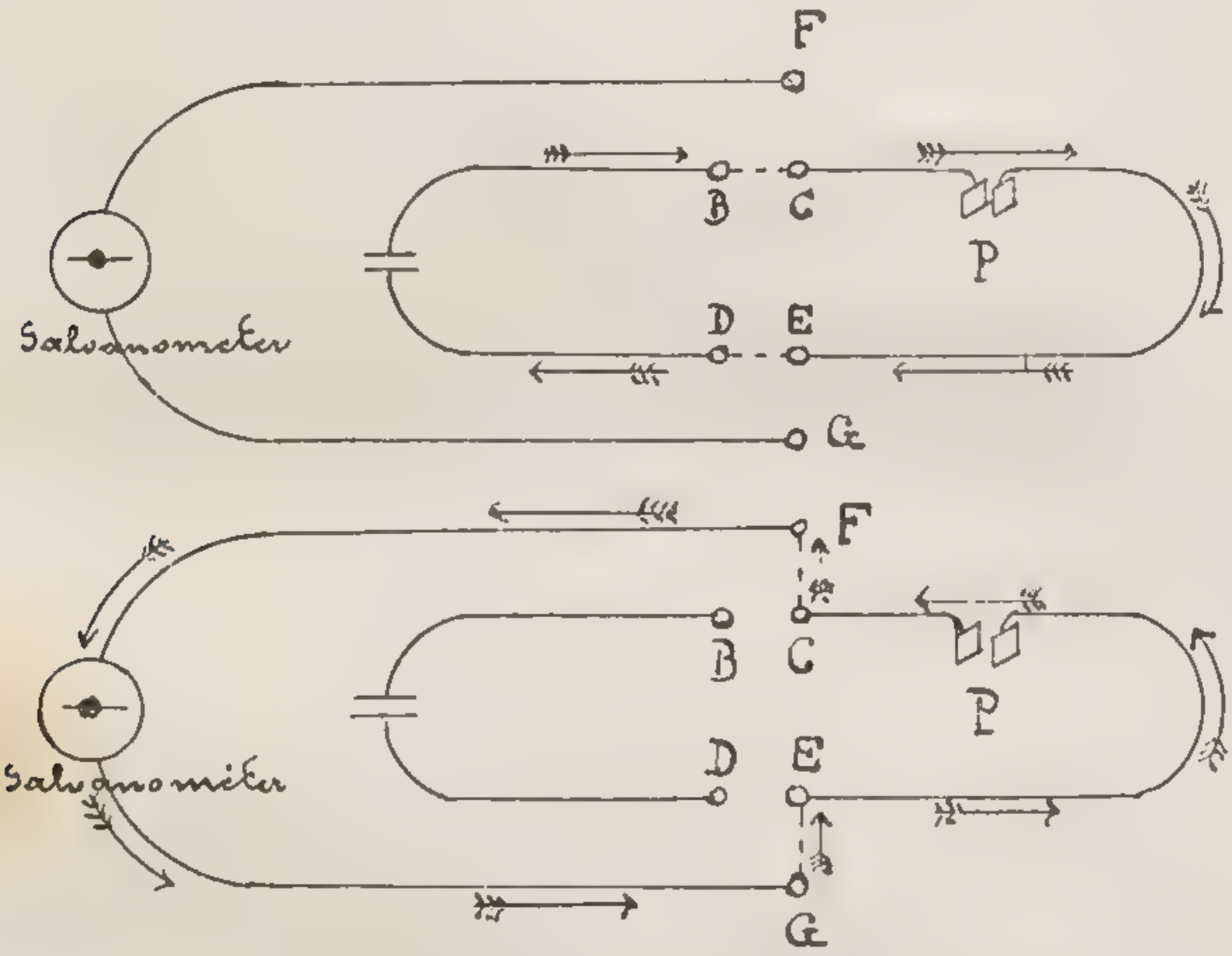
Wer wäre an den Schaufenstern unserer Kunstläden vorübergegangen, ohne nicht die tausendfältigen kleineren und grösseren plastischen Gebilde unserer heutigen Kunstindustrie anzuschauen und zu bewundern! Der grösste Theil von ihnen wird auf galvanoplastischem Wege hergestellt. Da finden wir Kunstgegenstände des alten Roms, aus dem grossen Grabe „Pompeji“ wieder an das Tageslicht befördert, neben solchen aus dem Mittelalter und der neuesten Zeit. Nicht die Kunst des Arbeiters hat sie reproducirt, sondern die Natur selbst mit unvergleichlicher Genauigkeit. Gehen Sie in unsere grossen Druckereien, in die Fabriken für Kattun- und Tapetendruck und Sie werden finden, dass die Galvanoplastik sich überall das Bürgerrecht erworben hat.

Es liegt nicht in meinem Plane, heute auf die Galvanoplastik näher einzugehen, da ich später auf sie ausführlicher zurückkommen werde, doch dürfen wir die elektrolytischen Wirkungen des galvanischen Stromes nicht verlassen, ohne eine, an sich zwar unscheinbare Erscheinung zu besprechen, die von jeher den Fachgelehrten grosses Kopfzerbrechen bereitet hat.

Nicht aller an der Anode und Kathode ausgeschiedene Sauerstoff und Wasserstoff steigt bei der Wasserzersetzung in Form von kleinen Gasbläschen in der Flüssigkeit in die Höhe, sondern ein Theil dieser Gasarten bleibt an den Platinplatten, an denen sie sich entwickeln, fest haften, indem sie gewissermaassen einen gasförmigen Ueberzug bilden. Hierdurch wird auf den galvanischen Strom ein Einfluss doppelter Art ausgeübt. Einmal hindern die beiden Gasschichten den Durchgang des Stromes, sie setzen ihm einen Widerstand entgegen, wodurch

seine Stärke verringert wird, sodann kommen die Platinplatten in Folge der Gasschichten nicht mehr in directe Berührung mit der Flüssigkeit, sondern nur mit dem Sauerstoff und Wasserstoff. Es ensteht dadurch eine neue elektrische Spannung oder elektromotorische Kraft, durch welche ein dem ursprünglichen Strome entgegengesetzt gerichteter Strom erzeugt wird. Je dicker die auf beiden Platten abgelagerte Gasschicht ist, desto mehr nimmt der ursprüngliche Strom an Stärke aus beiden Gründen ab. Der durch die Berührung der Platinplatten mit dem Sauerstoff und Wasserstoff verursachte Gegenstrom heisst der Polari-

Fig. 6.




sationsstrom und die ganze Erscheinung die galvanische Polarisation.

Von der Entstehung des Polarisationsstromes kann man sich auf folgende Weise überzeugen.

Man verbindet, wie Fig. 6 darstellt, das Element durch Drähte mit den Punkten *B* und *D*, ebenso die Platinplatten *P* mit den Punkten *C* und *E*, endlich das Galvanometer mit den Punkten *F* und *G*. Stellt man zunächst die Verbindung zwischen *B* und *C* und *D* und *E* her, so strömt der Strom vom Elemente in der Richtung der Pfeile durch den Wasserzersetzungsapparat, überzieht daselbst die Anode mit Sauerstoff, die Kathode mit

Wasserstoff. Wir heben sodann diese Verbindungen plötzlich wieder auf und stellen dagegen die Verbindungen $CF$ und $EG$ her, wodurch das Element aus dem Stromkreise aus, das Galvanometer dagegen in denselben eingeschlossen ist. Wurde nun durch den Sauerstoff- und Wasserstoff-Ueberzug der Anode und Kathode eine elektromotorische Kraft erzeugt, so muss sich dieselbe in einem galvanischen Strome äussern, der die Galvanometernadel ablenkt. Entstand keine elektromotorische Kraft, so darf auch das Galvanometer keinen Strom anzeigen.

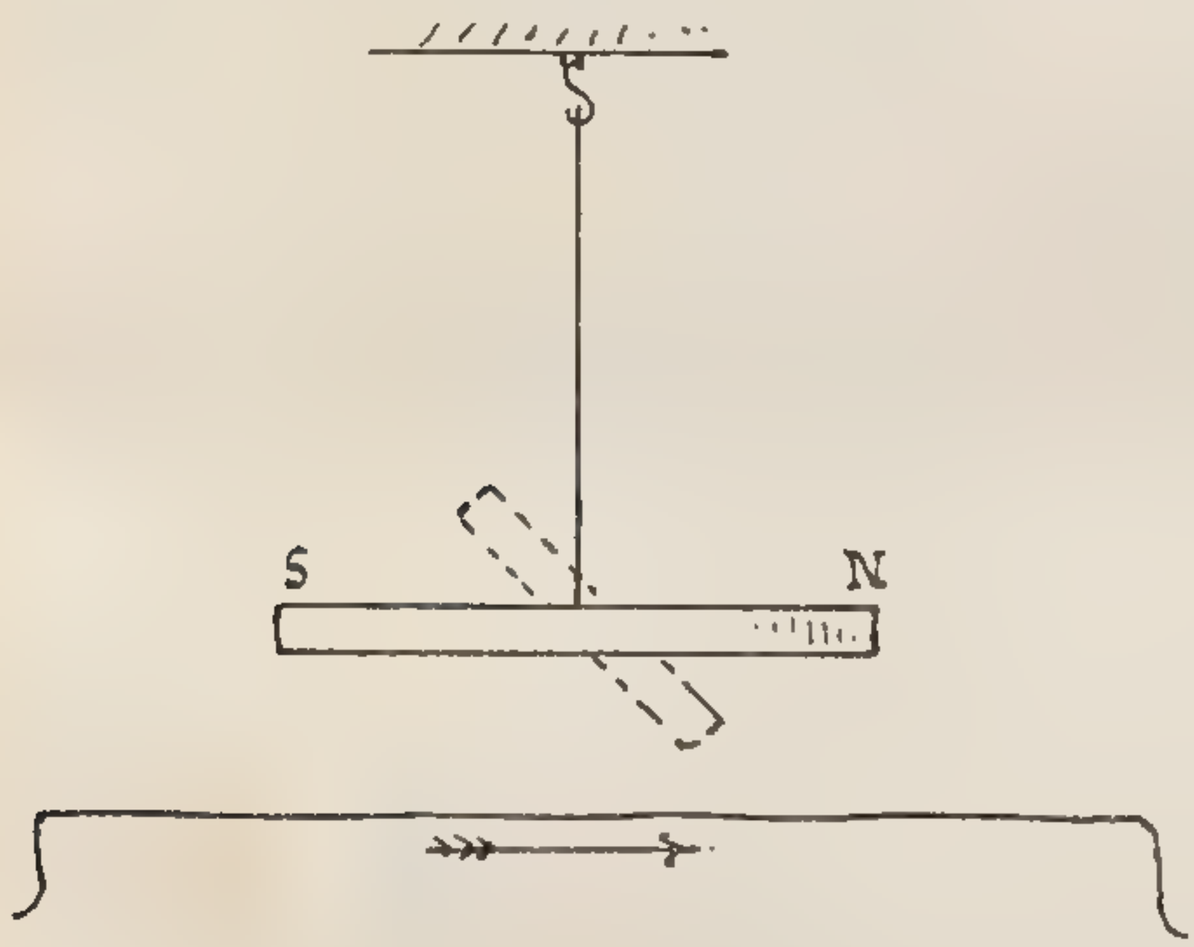
Wir stellen die erste Verbindung her. Der Strom des Elementes geht jetzt durch den Wasserzersetzungsapparat. Um seine Richtung festzustellen, schalten wir auf einen Augenblick das Galvanometer ein. Es erfolgt eine Ablenkung nach rechts. Jetzt stellen wir die zweite Verbindung her. Die Galvanometernadel schlägt nach links aus und zeigt damit an, dass ein Polarisationsstrom vorhanden und dass er dem Strome des Elementes entgegengesetzt gerichtet ist.

Einen viel intensiveren und dabei andauernderen Polarisationsstrom erhält man, wenn man Bleiplatten an die Stelle der Platinplatten setzt. Bei einiger Grösse dieser Platten erhält man alsdann einen Polarisationsstrom von solcher Stärke, dass derselbe selbst zu technischen Zwecken Verwendung finden kann. Dieser Umstand führte Planté im Jahre 1860 zur Entdeckung der Accumulatoren oder Secundär-Batterien. Ein Accumulator oder Stromansammler ist nichts anderes als die besprochene Vorrichtung in grösserem Maassstabe ausgeführt. In dem Accumulator besitzen wir ein Kraftreservoir, welches, einmal geladen, d. h. durch einen galvanischen Strom in den polarisirten Zustand versetzt, transportfähig ist, und dessen aufgespeicherte Kraft sich leicht in Licht, Wärme und mechanische Arbeit umsetzen lässt, wovon wir uns später überzeugen werden.

Eine ganz neue Epoche in der Geschichte der Elektricität trat im Jahre 1820 mit der Entdeckung Oerstedt's ein, dass der galvanische Strom auf Magnete eine Einwirkung äusserte. Zwei bis dahin völlig getrennte Gebiete, das der Elektricität und dasjenige des Magnetismus, wurden dadurch in eine äusserst fruchtbare Verbindung gebracht, welche eine ununterbrochene Reihe neuer Entdeckungen zur Folge hatte.

Um Oerstedt's Versuch zu wiederholen, hängen wir einen Magnet an einem äusserst dünnen Faden auf, Fig. 7. Jeder weiss, dass der Magnet alsdann eine solche Ruhelage annimmt, bei welcher sein Nordpol nach Norden gerichtet ist — oder um mich einer exacteren Ausdrucksweise zu bedienen — bei welcher die magnetische Achse, d. i. die Verbindungslinie zwischen Süd- und Nordpol, zusammenfällt mit dem magnetischen Meridian, d. i. mit der Richtung der Kraft, welche der Erdmagnetismus in horizontaler Richtung ausübt. Im vorliegenden Falle ist das Nordende von Ihnen ab-, das Südende Ihnen zugewandt. Wir lassen nun einen galvanischen Strom in der Richtung von Süd nach Nord unter dem Magnet vorübergehen und Sie sehen das Nordende sich nach rechts ablenken. Wir bringen nun die Nadel wieder in ihre Ruhelage zurück und lassen jetzt den Strom oberhalb desselben von Süd nach Nord strömen, dann lenkt der Nordpol nach links ab. Nicht der Draht ist es, welcher diese Ablenkung hervorbringt, sondern der galvanische Strom, der in dem Drahte fliesst. Nähern wir den Draht, ohne ihn von einem Strome durchfliessen zu lassen, so wird der Magnet nicht abgelenkt. Wir können den Strom in allen möglichen Richtungen an dem Magnet vorbeifliessen lassen und immer findet eine Einwirkung statt.

Fig. 7.




Es würde schwer sein, die Richtung der Ablenkung des Magneten in jedem besonderen Falle im Voraus anzugeben, wenn nicht Ampère einige Zeit nach Oerstedt's Entdeckung ein einfaches Gesetz, die sogenannte „Ampère'sche Regel", aufgestellt hätte. Dies Gesetz lautet in Ampère's eigenen Worten: Man denke sich in den elektrischen Strom versetzt, so dass dessen Richtung von den Füssen zu dem Kopfe geht, und man habe das

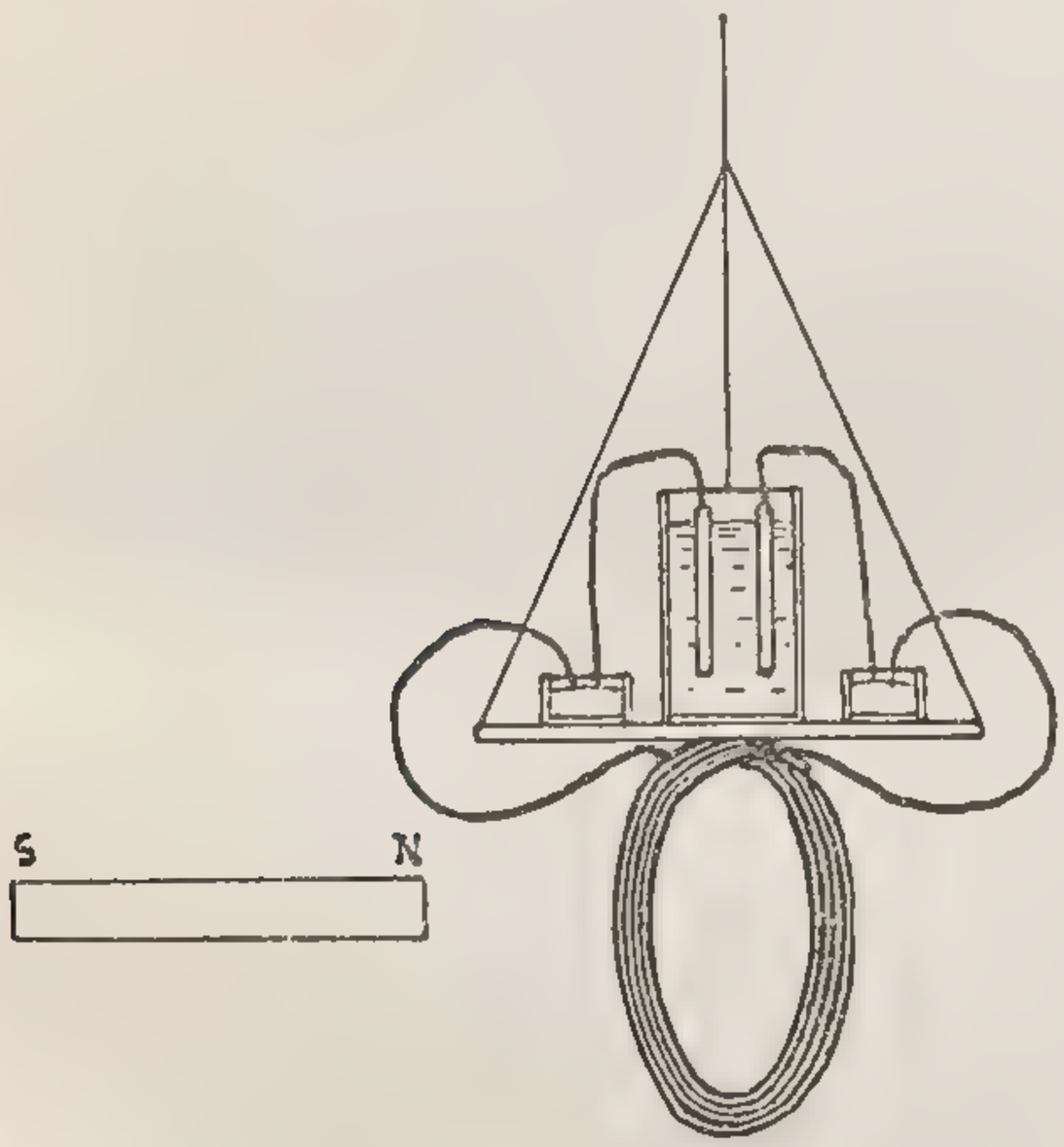
Gesicht der Nadel zugekehrt, so ist die Ablenkung stets durch die ausgestreckte Linke gegeben für den Pol, welcher nach Norden zeigt.

Umgiebt man den Magnet mit einer Drahtwindung, so erkennt man nach der angeführten Regel leicht, dass jeder Theil der Umwindung die Nadel in gleichem Sinne dreht. Die Wirkung wird dadurch verstärkt werden. Umgiebt man die Nadel statt mit einer Umwindung mit 2 .. 3 .... 1000, ja mit 10 000 Drahtwindungen, so wird bei gleicher Stromstärke die Wirkung verdoppelt, verdreifacht, verzehntausendfacht, und wir haben somit ein Instrument gewonnen, welches durch die Ablenkung des Magneten schon den schwächsten Strom anzuzeigen im Stande ist. Ein solches Instrument nennt man ein Galvanometer, von dem wir bereits mehrmals Gebrauch gemacht haben. Die Galvanometer bilden das Handwerkszeug für den messenden Elektriker, weil durch sie die Richtung und die Stärke der galvanischen Ströme bestimmt werden.

In der Natur gilt ein allgemeines Gesetz, welches man das Gesetz von der Gleichheit der Wirkung und Gegenwirkung nennt. Uebt irgend ein Punkt $A$ auf einen Punkt $B$ eine Kraft aus, so wirkt auch allemal der Punkt $B$ auf den Punkt $A$ mit einer gleich grossen, aber entgegengesetzt gerichteten Kraft. Haben wir also nachgewiesen, dass der galvanische Strom auf den Magnet eine Wirkung ausübt, so schliessen wir, dass auch umgekehrt der Magnet auf den Strom eine entgegengesetzte Wirkung äussert. Sie sehen dort einen kreisförmigeu Drahtring an einer Wagschale befestigt, Fig. 8, welche an einem dünnen Draht aufgehangen ist. Auf die Wagschale setzen wir ein galvanisches Element und lassen von ihm aus den Strom durch den Drahtring strömen. Wir haben auf diese Weise einen äusserst beweglichen Stromkreis gewonnen. Nähern wir dem Drahtringe einen Magnet, so beginnt derselbe sich sogleich zu drehen. Noch ein anderes interessantes Experiment lässt sich mit der Vorrichtung ausführen. Wir unterbrechen den galvanischen Strom, indem wir einen kleinen Kupferbügel aus zwei Quecksilbernäpfchen, die sich auf der Wagschale befinden, herausnehmen, entfernen alle Magnete und überlassen den Drahtring sich selbst. Dann stellt sich der Ring in seine Ruhelage ein.

In unserem Falle befindet sich der Ring in seiner Ruhelage, wenn die Ringebene mit der astronomischen Meridianebene zusammenfällt. Lassen wir jetzt durch die Rolle einen Strom hindurchgehen, indem wir den Kupferbügel in die Quecksilbernäpfchen einlegen, dann tritt die merkwürdige Erscheinung ein, dass sich der Drahtring ganz von selbst dreht, und zwar zeigt sich nach kurzer Zeit, dass der Ring in einer neuen, zu der vorigen senkrechten Stellung zur Ruhe kommt. Diese merkwürdige Erscheinung findet ihre Erklärung sofort, wenn wir bedenken, dass, wenn auch alle Magnete entfernt werden, doch immer noch einer übrig bleibt — der Erdmagnet. — Der Erdmagnetismus ist die Ursache der Drehung.

Fig. 8.




In etwas anderer Weise führte Ampère die besprochenen Versuche aus. Er gab dem Strome eine eigenthümliche Form, welche er Solenoid nannte. Unter einem Solenoid versteht man eine Reihe neben einander liegender, kreisförmiger Umwindungen, welche zusammengenommen eine Röhre bilden. Hängt man das eine Ende des Solenoiddrahtes an einem dünnen Drahte auf, Fig. 9 (a. f. S.), und lässt das andere in ein Quecksilbernäpfchen eintauchen, so kann man durch dasselbe einen Strom schicken, ohne dabei der Drehbarkeit Eintrag zu thun. Ampère fand, dass sich ein solches vom Strom durchströmte Solenoid genau wie ein Magnet verhält. Bekanntlich besitzt jeder Magnet an seinen Enden einen Nord- und einen Südpol, und man weiss, dass je zwei gleichartige Pole sich gegenseitig abstossen, zwei ungleichartige dagegen sich anziehen. Ein solches Solenoid besitzt gleichfalls einen Nord- und einen Südpol. Bringt man daher in die Nähe seines Nordpols den Nordpol eines Magneten, so

findet Abstossung statt, Anziehung dagegen bei Annäherung des Südpols.

Diese Thatsachen führten Ampère zu einer neuen Theorie des Magnetismus. Er behauptet, es giebt keine magnetischen Flüssigkeiten, wie man sie bisher angenommen hatte, sondern in jedem Magnete bewegen sich um die Molecüle galvanische Ströme, welche in ihrer Gesammtheit ein Solenoid bilden. In der That finden alle bis jetzt bekannten magnetischen Erscheinungen durch diese Annahme ihre vollständige Erklärung.

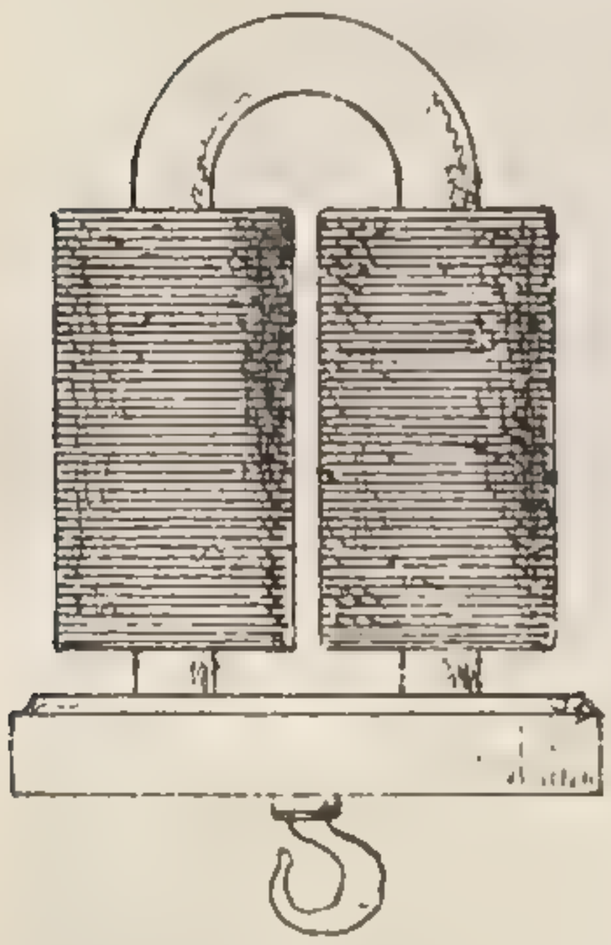
Fig. 9.

Eine logische Schlussfolgerung, welche Ampère aus seinen Versuchen zog, führte ihn endlich zu der Entdeckung, dass auch galvanische Ströme ohne allen Magnetismus auf einander einwirken. Er sagte, wenn ein Solenoid sich in seinen Wirkungen wie ein Magnet verhält, zwei Magnete aber auf einander einwirken, so müssen nothwendig auch zwei Solenoide Kräfte auf einander ausüben. Der Versuch bestätigte diese Schlussfolgerung. Wir nähern jetzt unserem Solenoid ein anderes. Es findet Abstossung statt. Kehren wir das Solenoid um, so findet Anziehung statt. Durch höchst sinnreiche Versuche gelang es Ampère, die Gesetze der Wirkung zweier galvanischer Ströme auf das Genaueste festzustellen.

Kehren wir nach diesen Betrachtungen, welche Folgerungen von Oerstedt's Entdeckungen bildeten, zu Oerstedt zurück. Unmittelbar an die Entdeckung Oerstedt's reihte sich eine zweite von Arago von ungeheurer Wichtigkeit an, indem derselbe fand, dass ein gewöhnlicher Eisenstab durch den galvanischen Strom in einen Magnet verwandelt werden könne. Es war dazu nur nöthig, denselben mit einer Anzahl Windungen zu umgeben und durch diese einen galvanischen Strom zu schicken. Giebt man dem Eisenstabe die Form eines Hufeisens, so erhält man einen Hufeisenelektromagnet. Ein solcher Hufeisenelektromagnet ist hier aufgehangen, Fig. 10. Um uns von seiner

bedeutenden Kraft zu überzeugen, bringen wir ein Stück weiches Eisen, den sogenannten Anker, mit den Enden in Berührung. So lange kein Strom durch die Windungen hindurchgeht, wird der Anker nicht festgehalten. Schliessen wir den Strom, so können wir zunächst einen halben Centner, sodann noch einen zweiten halben Centner anhängen, ohne dass der Anker abreisst. Versuche haben ergeben, dass man 8 bis 10 Centner anhängen könnte, ohne ein Abreissen befürchten zu müssen. Würde jetzt der Strom unterbrochen, so würde das Gewicht sofort herabfallen, weil das Eisen dann seinen Magnetismus verliert. Der Versuch beweist zur Genüge, dass man im Elektromagnetismus über sehr bedeutende Kräfte disponirt, doch haben diese Kräfte die für ihre praktische Anwendung störende Eigenschaft, dass sie mit der Entfernung des Ankers von den Polen des Hufeisenmagnets sehr rasch abnehmen, so dass z. B. die Kraft, mit der der Anker von den Polen angezogen wird, wenn er nur in 1 cm Entfernung gebracht wird, noch nicht den $^1/_{1000}$ Theil von derjenigen Kraft beträgt, welche bei Berührung auf ihn ausgeübt wird.

Fig. 10.



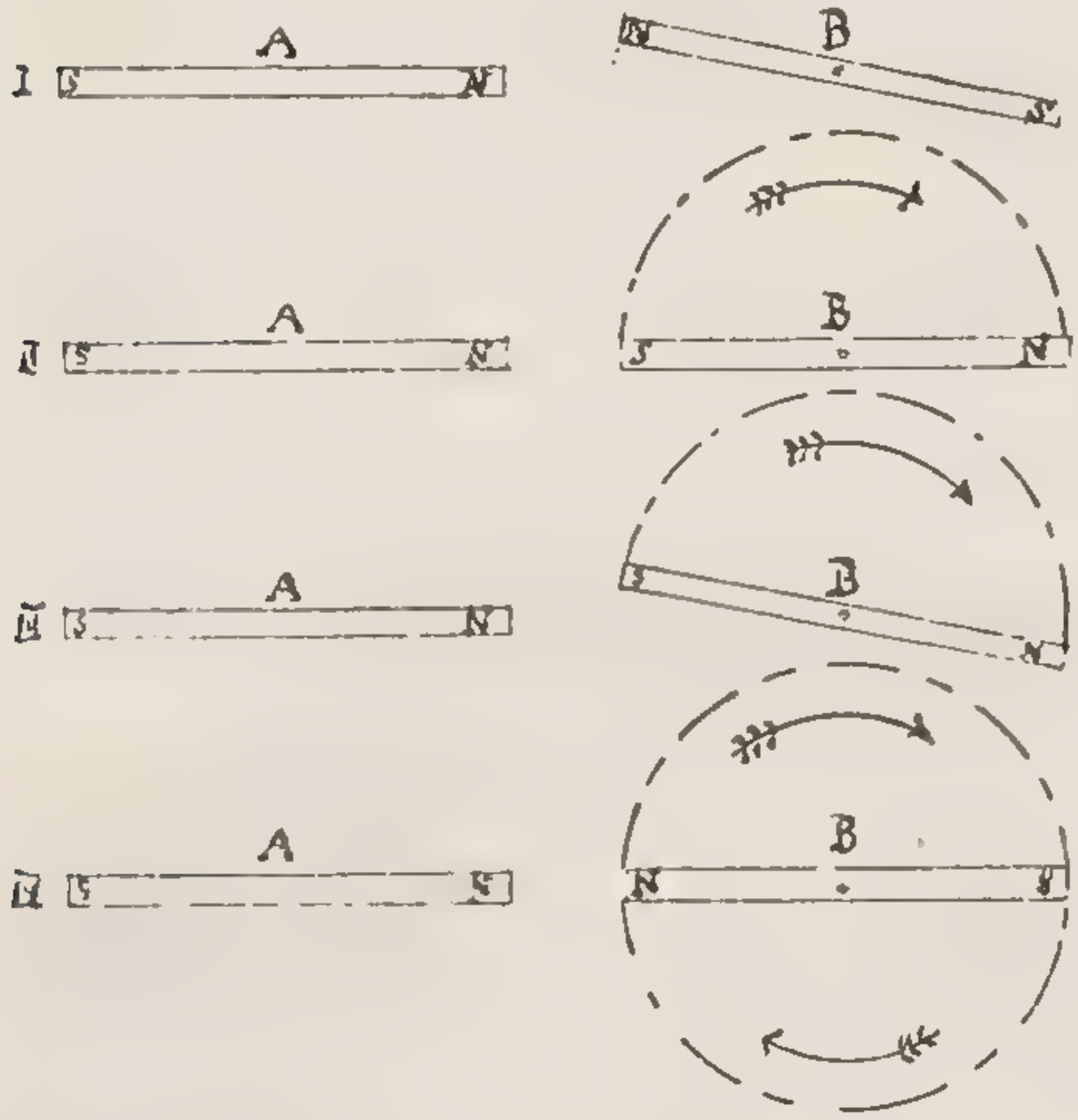
Wir wollen den Apparat benutzen, um zu zeigen, dass die magnetischen Kräfte zu den sogenannten fernwirkenden Kräften gehören, d. h. dass die magnetische Kraft ganz unabhängig ist von den Substanzen, welche sich zwischen den auf einander wirkenden Theilen befindet, vorausgesetzt, dass diese Substanzen selbst nicht magnetische Körper sind. Bringen wir z. B. zwischen Anker und Elektromagneten eine Holzplatte, so wirkt der Elektromagnet durch das Holz mit derselben Kraft auf den Anker ein, wie wenn sich zwischen ihnen Luft oder ein luftleerer Raum befindet. Bringt man endlich eine Anzahl Nägel mit den Polen in Berührung, so werden sie sämmtlich in kleine Magnete verwandelt, die sich zu einem Klumpen zusammenfügen.

Es kann nicht Wunder nehmen, dass man sofort nach der Entdeckung dieser neuen Kräfte versuchte, auf sie Maschinen zu gründen, und es fehlte schon damals nicht an Enthusiasten,

welche die Meinung hegten, dass eine ganz neue Aera für die Betriebsmaschinen gekommen sei, eine Meinung, welche sich aber in der Folge als nicht stichhaltig erwiesen hat.

In der That stehen uns im Elektromagnetismus zwar grosse Kräfte zur Verfügung, allein die Leistungsfähigkeit einer Maschine hängt nicht allein von der Grösse der disponiblen Kräfte ab. Jede Maschine durchläuft bei ihrem Gange eine bestimmte Periode. Die Periode ist durchlaufen, wenn sämmtliche beweglichen Theile der Maschine wieder ihre ursprüngliche Lage angenommen haben. Bei der Dampfmaschine z. B. ist dies der Fall, wenn das Schwungrad sich einmal herumgedreht hat. Die Leistung einer Maschine ist um so grösser, je grösser die Summe der Triebkräfte ist, welche während der ganzen Periode auf die Maschine ausgeübt wurden.

Fig. 11.




Ein Beispiel wird dies sofort klar machen! Gesetzt, es handle sich darum, auf die Wirkung, welche zwei Magnete auf einander ausüben, eine Maschine zu gründen. Wir denken uns den einen Magnet *A* fest, den anderen *B* dagegen um seine Mitte drehbar. Anfänglich mögen sich die beiden Nordpole gegenüberstehen. Es werde nun der drehbare Magnet in der Richtung des Pfeiles um seine Drehungsachse gedreht. Wie aus Fig. 11 hervorgeht, wirken auf den Magnet *B*, während er sich aus seiner Anfangslage *o* bis $180^0$ dreht, lauter positive Triebkräfte ein, d. h. solche, welche seine Bewegung beschleunigen, denn Nordpol und Nordpol stossen sich ab, Nordpol und Südpol ziehen sich an. In der Stellung II angekommen, liegt dem Nordpol von *A*

jetzt der Südpol von $B$ gegenüber. Dreht sich der Magnet $B$ weiter, bis er sich wieder in der Anfangslage befindet, so sieht man, dass alsdann auf den Magnet $B$ lauter negative Triebkräfte ausgeübt werden, denn bei irgend einer Zwischenstellung ist die Triebkraft der Bewegung des Magneten entgegengesetzt, da der Nordpol von $A$ den Südpol von $B$ anzieht, den Nordpol abstösst. Mit anderen Worten, auf der ersten Hälfte der Periode sind die Triebkräfte alle positiv, auf der zweiten Hälfte der Periode negativ, und da die Triebkräfte ihrer Grösse nach auf beiden Hälften der Periode genau gleich sind, so folgt, dass die Summe der Triebkräfte während einer Periode jedesmal gleich Null ist. Wir können daher behaupten: Es ist nie und nimmer möglich, auf die Wirkung von zwei Magneten, sie mögen so starke Kräfte auf einander ausüben, wie sie wollen, eine Maschine zu gründen.

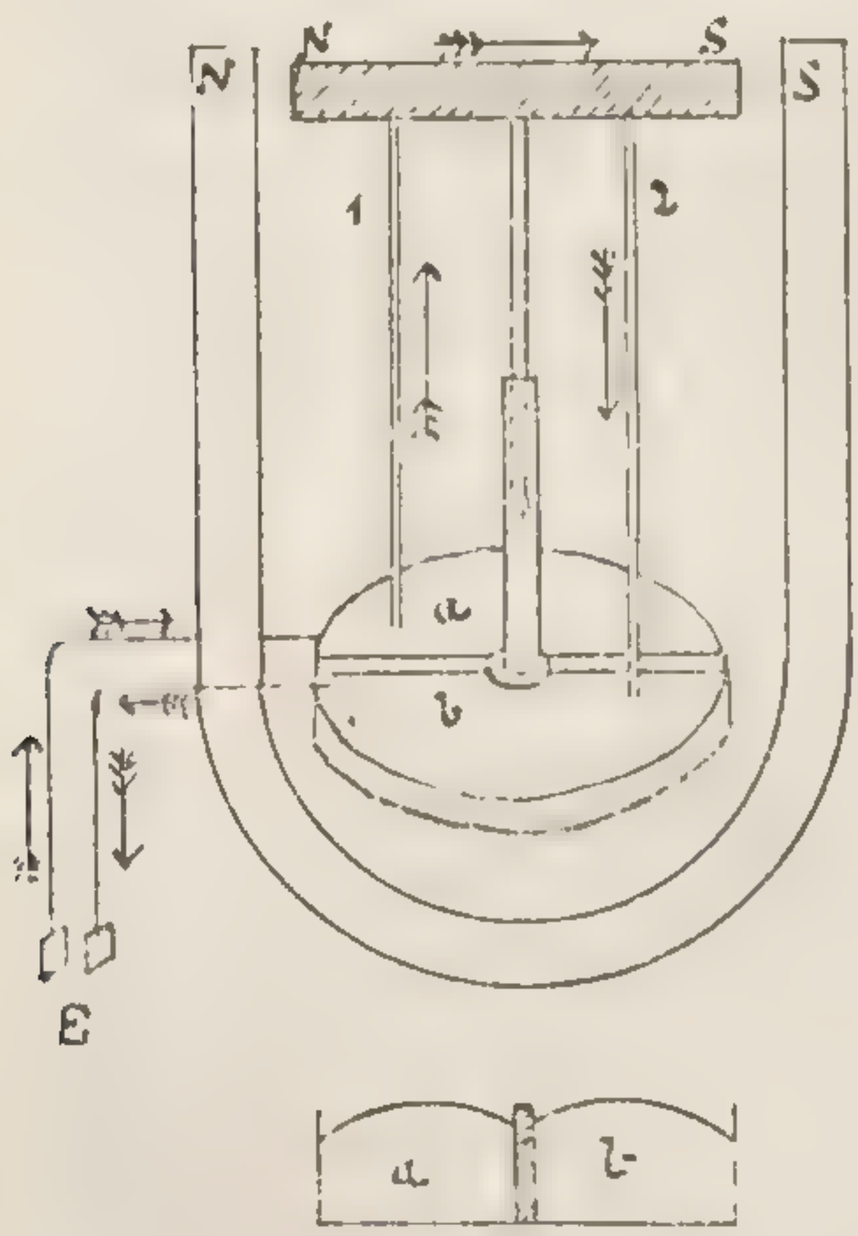
Die ausgesprochene Behauptung gilt nicht mehr, wenn man an die Stelle eines der beiden Magneten einen Elektromagneten setzt. Es sei jetzt $B$ ein Elektromagnet, d. h. ein mit Drahtumwindungen umgebener Eisenstab, welcher sich um seine Mitte drehen kann. Man kann leicht in der Anfangsstellung den Elektromagneten von einem Strom so durchfliessen lassen, dass dem Nordpol des Magneten $A$ gegenüber ein Nordpol entsteht. Dreht man den Elektromagneten aus seiner Anfangsstellung in der Richtung des Pfeiles, wie vorher in Fig. 11 den einfachen Magneten, so werden wie vorher positive Triebkräfte wirken, bis der Elektromagnet sich um $180^0$ gedreht bat. Unterbricht man alsdann den Strom, so wird der Elektromagnet unmagnetisch und legt in Folge dessen die zweite Hälfte seines periodischen Umlaufs ohne alle Triebkraft zurück. Die Summe der Triebkräfte während der ganzen Periode ist in diesem Falle eine bestimmte positive Grösse, und wir haben damit eine Arbeitskraft gewonnen, durch welche der Elektromagnet dauernd in Rotation versetzt werden kann.

Wie leicht zu sehen, kann die Arbeitskraft noch dadurch vergrössert werden, dass man, nachdem sich der Elektromagnet um $180^0$ gedreht hat, nicht bloss den Strom unterbricht, sondern ihn umkehrt. Alsdann werden auch auf der zweiten Hälfte der Periode positive Triebkräfte ausgeübt, und die Summe verdoppelt

sich. Stellt man endlich nicht bloss den Nordpol des Elektromagneten $B$ einem Nordpol, sondern auch dem Südpol von $B$ einen Südpol gegenüber, was leicht durch Anwendung eines Hufeisenmagneten erreicht wird, so wird dadurch die Arbeitskraft vervierfacht.

Wir haben hiermit in Kurzem die Theorie des kleinen Apparates kennen gelernt, welcher hier vor Ihnen steht. Er besteht, wie Fig. 12 andeutet, aus einem Hufeisenmagnet, zwischen dessen Polen sich ein Elektromagnet auf einer Spitze dreht. Von dem Elektromagnete führen zwei Drähte 1 und 2 vertical herab und tauchen in ein Quecksilbernäpfchen, welches durch einen Steg in zwei getrennte Abtheilungen $a$ und $b$ zerfällt. Dasselbe ist im Querschnitt noch besonders gezeichnet. Die beiden Abtheilungen $a$ und $b$ des Quecksilbernäpfchens stehen durch zwei Verbindungsdrähte mit den Polen eines Elementes in Verbindung. Der galvanische Strom geht nun von dem positiven Pole aus und gelangt über $a$, 1, Elektromagnet, 2, $b$ zum Elemente zurück. In Folge dessen dreht sich der Magnet um 180°. In diesem Augenblicke aber ist der Draht 2 in die Abtheilung $a$, der Draht 1 in die Abtheilung $b$ des Quecksilbernäpfchens gelangt. Dadurch wird der Strom im Elektromagneten umgekehrt, letzterer dreht sich von Neuem um eine halbe Umdrehung u. s. f. Wir erhalten eine dauernde Rotation.

Fig. 12.

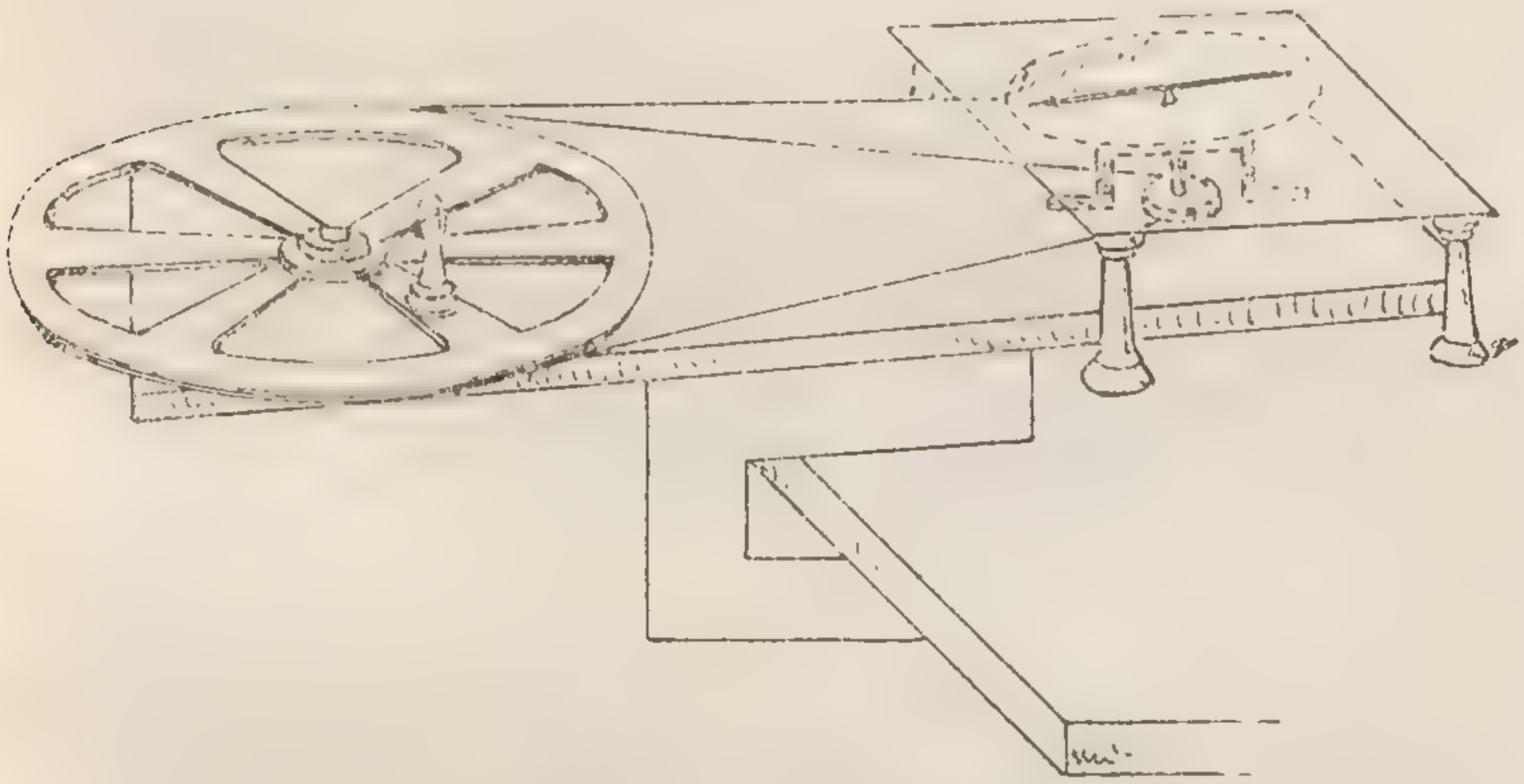



Auf ähnlichen Principien wie die betrachtete Maschine beruhen alle elektromagnetischen Maschinen, auf welche heute einzugehen die Zeit nicht gestattet. Eine Ausnahme bilden nur die neuen, nach dem Principe des sogenannten Pacinotti'schen Ringes erbauten Maschinen, wenn sie nicht zur Stromerzeugung, sondern zur Kraftübertragung benutzt werden. Bei ihnen findet

kein Stromwechsel statt und sie ergeben daher bedeutend günstigere Resultate.

Eine neue wichtige Entdeckung machte Arago im November 1824. Man kannte zu jener Zeit die magnetischen Eigenschaften schon ziemlich genau und wusste, dass nur sehr wenige Körper fähig waren, den magnetischen Zustand anzunehmen, nämlich ausser Eisen und Stahl Nickel, Kobalt, Chrom. Um so auffallender musste es sein, als es Arago gelang, durch unmagnetische Metalle magnetische Wirkungen hervorzubringen. Er hing z. B. über einer Kupferscheibe einen Magneten auf. Versetzte er den

Fig. 13.



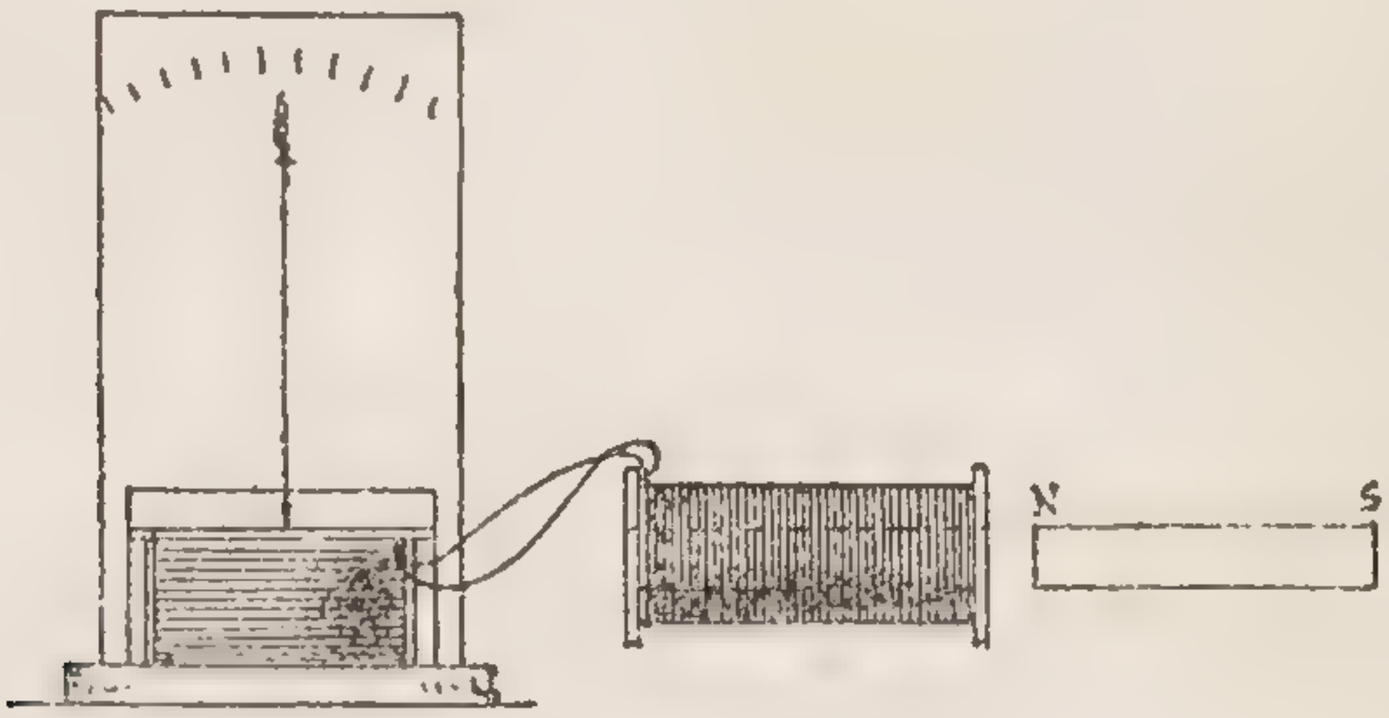
Magneten in Schwingungen, so nahmen dieselben viel rascher ab, als wenn die Kupferscheibe entfernt wurde. Liess er die Kupferscheibe unter dem Magneten rotiren, Fig. 13, so wurde der Magnet im Sinne der rotirenden Scheibe herumgedreht.

Um den Einwand von vornherein abzuschneiden, der durch die rotirende Scheibe veranlasste Luftzug bringe diese Drehung hervor, wollen wir bei diesem Versuche zwischen Magnet und Kupferscheibe eine Glasplatte einschieben. Arago glückte es nicht, die wahre Ursache der Erscheinung zu entdecken, es war dies vielmehr Faraday vorbehalten, welcher acht Jahre später, im Jahre 1832, zeigte, dass nicht etwa, wie man bis dahin geneigt war anzunehmen, die Kupferscheibe im rotirenden Zustande

magnetisch wurde, sondern dass in der Kupferscheibe in Folge ihrer Bewegung galvanische Ströme erzeugt würden, welche die Ablenkung des Magneten veranlassten. Faraday zeigte, dass, wenn sich ein geschlossener Stromkreis gegen einen Magnet oder ein Magnet gegen einen Stromkreis bewegte, in dem Stromkreis ein Strom erzeugt wurde von derselben Dauer wie die Bewegung. Er fand damit eine ganz neue Methode, galvanische Ströme zu erzeugen, welche den Namen Magnetinduction erhielt.

Ich will versuchen, Ihnen die Beobachtungen Faraday's vorzuführen. Wir bilden aus einer Drahtrolle, Fig. 14, welche

Fig. 14.

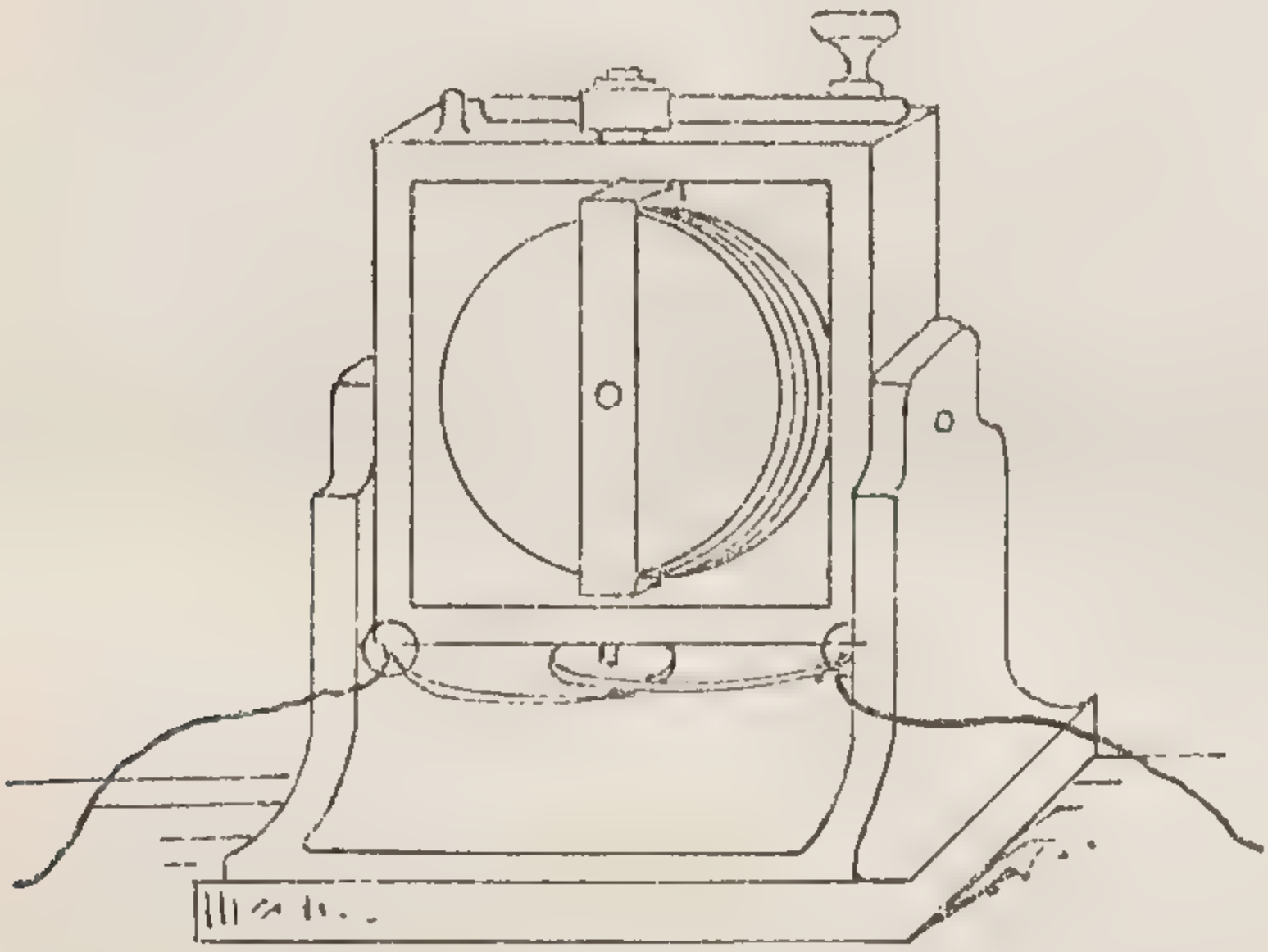



eine röhrenartige Höhlung besitzt, und dem Galvanometer einen in sich geschlossenen Stromkreis. Schieben wir einen Magneten bis zu seiner Mitte mit seinem Nordpol voran in die Rolle ein, d. h. nähern wir den Nordpol der Rolle, so entsteht ein Strom, welcher die Galvanometernadel nach rechts ablenkt. Ziehen wir den Nordpol wieder aus der Rolle, so schlägt die Nadel nach der entgegengesetzten Seite aus, und folglich wird dann ein Strom von entgegengesetzter Richtung erzeugt. Drehen wir den Magnet um, und führen jetzt den Südpol in die Rolle ein, so wird ein Strom von derselben Richtung erzeugt, wie bei der Entfernung des Nordpoles. Ziehen wir den Südpol aus der Rolle, so entsteht ein Strom von derselben Richtung, wie bei der Annäherung des Nordpoles. Wir können somit sagen, bei Annäherung des Nordpoles oder der Entfernung des Südpoles wird ein Strom in einer bestimmten Richtung, bei Entfernung des Nordpoles oder An-

näherung des Südpoles dagegen ein Strom von entgegengesetzter Richtung erzeugt.

Es ist hierbei nicht nöthig, den Magnet jedesmal in die Rolle einzustecken oder herauszuziehen. Es genügt schon, um einen galvanischen Strom hervorzubringen, den Magnet vor der Rolle oder die Rolle vor dem Magnet zu drehen. Dieser Umstand ist wichtig, denn es existirt ein grosser Magnet, welchen man nicht in die Rolle einführen, vor welchem aber die Rolle gedreht werden kann. Dieser Magnet ist der Erdmagnet. Hier steht eine Drahtrolle, Fig. 15, auf welche

Fig. 15.



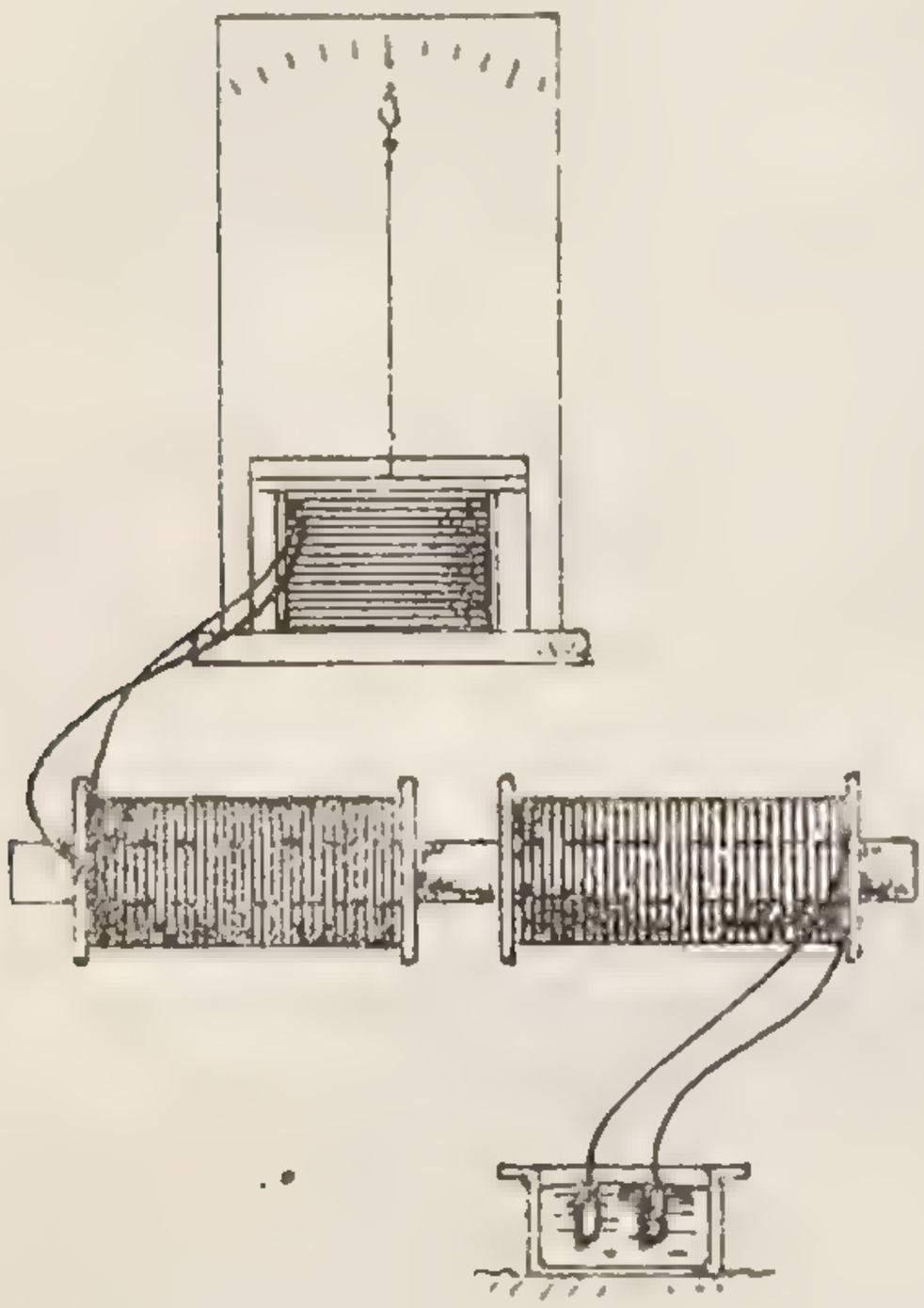
nichts Anderes als der Erdmagnet einwirkt. Dreht man die Rolle rasch um $180^0$, so entsteht in ihr durch die blosse Einwirkung des Erdmagnetismus ein galvanischer Strom. Freilich ist derselbe nur schwach, so schwach, dass ihn nur ein empfindlicheres Galvanometer als das vorstehende sichtbar zu machen im Stande ist. Aus demselben Grunde kann dieser Strom auch nicht technisch verwerthet werden, dessen ungeachtet hat gerade diese Methode, galvanische Ströme hervorzubringen, für theoretische Untersuchungen die grösste Wichtigkeit erlangt. Man nennt das Instrument „Erdinductor“.

An diese bahnbrechenden Untersuchungen knüpfte Faraday noch die fernere Entdeckung, dass nicht bloss bei relativer Be-

wegung zwischen einem Stromkreise und einem Magneten ein Strom entsteht, sondern dass auch entstehender und verschwindender Magnetismus Ströme hervorruft.

Schiebt man in die Oeffnung einer Drahtrolle, Fig. 16, welche Faraday die primäre Rolle nennt, einen Eisenstab, und lässt alsdann durch dieselbe den Strom eines galvanischen Elementes gehen, so wird — wie wir sahen — der Eisenstab in einen Magnet verwandelt, unterbricht man den Strom, so verschwindet der Magnetismus wieder. Wir schieben nun auf den hervorragenden Theil des Eisenstabes eine mit dem Galvanometer zu einem Stromkreise verbundene Rolle auf, die sogenannte secundäre Rolle. Stellen wir jetzt am Element den Stromschluss her, so wird das Eisen magnetisch und in demselben Augenblick wird in der secundären Rolle ein Strom erzeugt, welcher die Galvanometernadel nach rechts treibt. Der Strom ist nur von kurzer Dauer. Er dauert nämlich nur so lange, als die Bildung des Magnetismus im Eisen Zeit bedarf. Hat der Eisenstab seinen Magnetismus angenommen, so ist auch in der secundären Rolle kein Strom mehr vorhanden, und die Galvanometernadel zeigt keine Ablenkung. Unterbricht man aber jetzt den Strom am Element, so verschwindet der Magnetismus im Eisenstab, und in der secundären Rolle entsteht ein Strom von entgegengesetzter Richtung, die Nadel des Galvanometers schlägt nach links aus. Durch abwechselndes Schliessen und Oeffnen des Stromes in der primären Rolle können wir also den Magnetismus in dem Eisenstabe abwechselnd entstehen und verschwinden lassen und erhalten dadurch in der secundären Rolle abwechselnd gerichtete Ströme.

Fig. 16.



Hierin besteht die zweite Art der Magnetinduction. Wer hätte wohl zu Faraday's Zeit geglaubt, dass diese zwar interessanten, aber immerhin nicht hervorstechenden Erscheinungen die Grundlage zur Erzeugung der gewaltigen Ströme bilden würden, die wir heute durch unsere Magnetinductions- und Dynamomaschine hervorbringen! In der That beruht der grosse Aufschwung auf der Herstellung neuer Stromerzeuger, und die Stromerzeuger gründen sich auf Faraday's Entdeckungen.

Obwohl wir bei der Betrachtung der Dynamomaschine von einer ferneren Entdeckung Faraday's nicht unmittelbar Gebrauch machen werden, möge dieselbe doch Erwähnung finden als ein Beispiel, wie bei dem Gebäude der exacten Naturwissenschaften durch logische Schlussfolgerung sich Stockwerk auf Stockwerk aufsetzt. Ampère hatte gefunden, dass ein Solenoid alle Wirkungen eines Magneten ausübt, folglich, sagte sich Faraday, müssen sich die soeben angestellten Versuche auch ausführen lassen, wenn man an die Stelle des Magneten ein Solenoid setzt. Die Versuche bestätigten die Schlussfolgerung und so entdeckte Faraday, dass auch durch blosse galvanische Ströme ohne allen Magnetismus in geschlossenen Stromkreisen Inductionsströme erzeugt werden können. Er entdeckte die Voltainduction.

Zum Beschluss unserer heutigen Betrachtungen wenden wir uns noch zu den Wärme- und Lichtwirkungen des galvanischen Stromes. In allen Fällen, wo ein galvanischer Strom einen Körper durchströmt, wird in demselben Wärme erzeugt. Versuche haben ergeben, dass die producirte Wärme im Allgemeinen von der Stärke des Stromes abhängig ist und zwar so, dass ein doppelt so starker Strom die vierfache, ein dreifach so starker Strom die neunfache Wärme hervorbringt. Ausserdem wird die erzeugte Wärme um so grösser, je kleiner der Querschnitt des Körpers ist, den der Strom durchströmt, und je grösser der Widerstand ist, welchen ihm das Material entgegensetzt. Um daher eine grosse Wärmewirkung hervorzubringen, bedienen wir uns eines starken Stromes und eines dünnen Drahtes. Es eignet sich hierzu besonders Eisendraht, weil Eisen unter den Metallen verhältnissmässig einen grossen Widerstand besitzt. Hier ist ein solcher

Eisendraht zwischen zwei Klemmen ausgespannt. Wir schliessen den Strom, und Sie sehen die Wirkung. Der Draht wird nicht nur glühend, sondern schmilzt, und wenn wir das Papier betrachten, welches unter dem Apparate liegt, so finden wir viele geschmolzene Eisenkügelchen. Nun besitzt das Eisen ungefähr die Schmelztemperatur von 1600° C., wir schliessen daraus, dass der Draht wenigstens diese Temperatur erreicht haben muss. Einen bedeutend höheren Schmelzpunkt als das Eisen hat das Platin. Ausserdem hat das Platin die Eigenschaft, selbst im glühenden Zustande keine Verbindung mit dem Sauerstoff der Luft einzugehen. Bedienen wir uns daher eines Platindrahtes, so können wir ihn dauernd in glühendem Zustande erhalten.

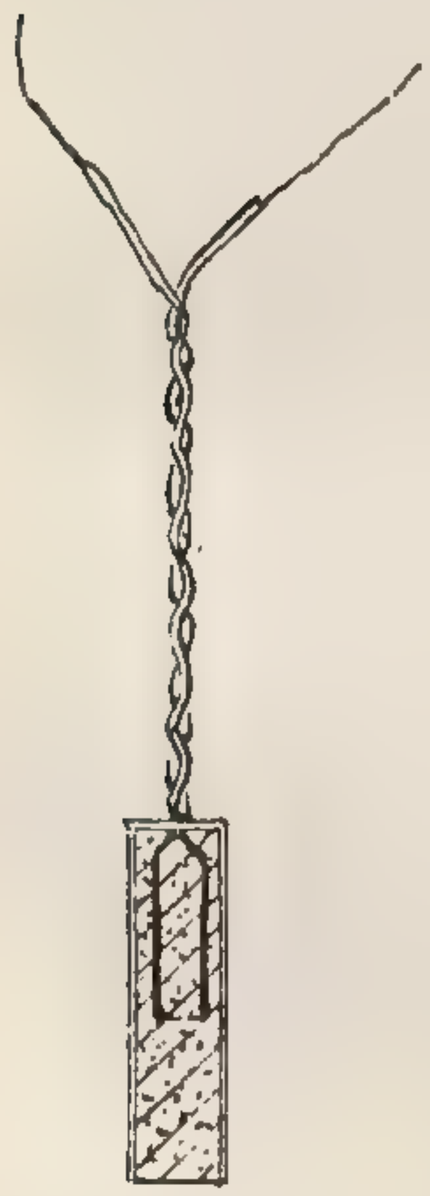
Wir wollen sogleich noch einen dritten Versuch anstellen, welcher recht deutlich zeigt, dass die Glüherscheinung ausser von der Stromstärke auch noch von dem Materiale abhängt. Ich habe hier eine Kette gebildet, deren Glieder abwechselnd aus Platin- und Siberdraht von gleicher Dicke hergestellt sind. Platin leitet den Strom sehr schlecht, Silber sehr gut. Lassen wir den Strom durch die Kette gehen, so glühen alle Glieder aus Platin, während die Glieder aus Silber dunkel bleiben.

Mit der starken Wärmewirkung ist auch eine starke Lichtwirkung verknüpft, so dass es nahe liegt, die Eigenschaft des galvanischen Stromes, dünne Drähte ins Glühen zu versetzen, zur Beleuchtung zu verwenden. Bekanntlich ist dieser Gedanke durch das heute weit verbreitete Glühlicht realisirt, nur wendet man bei demselben nicht Platindraht, sondern einen äusserst dünnen Draht aus Kohle an, weil einerseits ein solcher glühender Kohlenfaden viel mehr Licht ausstrahlt als ein Platindraht und andererseits, weil die Kohle einen viel höheren Schmelzpunkt besitzt, einen so hohen, dass es bis jetzt noch nicht gelungen ist, Kohle zum Schmelzen zu bringen.

Da wir in einem späteren Vortrage das Glühlicht specieller betrachten werden, so möge heute noch eine andere nicht minder wichtige Anwendung hervorgehoben werden, welche bei der modernen Kriegführung eine grosse Rolle spielt. Es ist dies die elektrische Minensprengung. Es giebt wenige Verhältnisse, bei denen das Wohl und Wehe von Tausenden von Menschen so von

Minuten, ja Secunden abhängt, wie im Kriege. Wie viele Tausende von Menschenleben fielen in Leipzig am 19. October 1813 dem einzigen Umstande zum Opfer, dass nach verlorener Schlacht die Randstädter Brücke, die einzige, die in der Abzugslinie der Franzosen über die Elster führte, zu früh gesprengt wurde. In dem galvanischen Strom besitzen wir das Mittel, auf grosse Entfernungen hin Sprengungen auf die Secunde genau mit völliger Sicherheit vorzunehmen. Wir bilden aus zwei isolirten Drähten, Fig. 17, eine Art Gabel und verbinden die Gabelenden durch einen dünnen Draht aus Eisen, oder um das Durchrosten zu vermeiden, noch besser aus Platin. Diese Gabel senken wir in eine Blechbüchse gefüllt mit Pulver und haben damit eine Patrone hergestellt, die, wenn sie von allen Seiten wasserdicht verschlossen ist, auch zu Sprengungen unter Wasser gebraucht werden kann. Werden die beiden anderen Drahtenden der Gabel mit Leitungen verbunden, welche zu einem fern aufgestellten Element führen, so genügt ein Stromschluss, um die Patrone im Moment zur Explosion zu bringen. Denn in dem Augenblicke, wo der Strom geschlossen wird, kommt der dünne, in der Gabel ausgespannte Draht zum Glühen und entzündet das Pulver. Ich habe hier eine kleine Luftmine angebracht, in dem Augenblick, wo der Strom geschlossen wird, explodirt dieselbe.

Fig. 17.



Die erste von dem galvanischen Strom unmittelbar herrührende Lichterscheinung bestand in der Thatsache, dass bei der Unterbrechung eines starken Stromes sich an der Unterbrechungsstelle ein Lichtfunken bildet. Besonders stark zeigt sich diese Erscheinung, wenn man den positiven Pol eines galvanischen Elementes mit einem Quecksilbernäpfchen, den negativen Pol mit einem Kupferdraht verbindet, welcher in das Näpfchen eintaucht; zieht man dann den Draht aus dem Quecksilber, so entsteht ein heller Funke. Man könnte geneigt sein anzunehmen, die Elektricität selbst wäre eine leuchtende Materie. Dies ist aber keineswegs der Fall. vielmehr ist auch hier die Wärme-

wirkung des Stromes die Ursache des Lichtes. Indem man den Draht mehr und mehr aus dem Quecksilber zieht, vermindert sich der Querschnitt der Berührungsstelle zwischen Draht und Quecksilber mehr und mehr und wird kurz vor der völligen Trennung unendlich klein. Hierdurch tritt eine so bedeutende Erhitzung ein, dass die sich berührenden Theile glühend und zum Theil in glühenden Dampf verwandelt werden. Es scheint Davy der erste gewesen zu sein, welcher die Bemerkung machte, dass die Lichterscheinung bedeutend dadurch verstärkt werden könnte, dass man an Stelle von Quecksilber und Draht zwei Kohlenstücke setzte. Davy wendete bei seinen Versuchen einen ausserordentlich starken Strom an, den er durch 2000 galvanische Elemente erzeugte, und fand, dass bei so starken Strömen die Kohlenspitzen, nachdem sie anfänglich in Berührung gebracht waren, bis auf etwa 80 mm entfernt werden konnten, ohne dass das Licht verlöschte. Es bidete sich dabei ein weissglühender Lichtbogen, woher sich die heute gebräuchliche Bezeichnung „Bogenlicht“ herschreibt. Man hat später gefunden, dass der Lichtbogen aus einer Unzahl kleiner in Weissgluth befindlicher Kohlenpartikelchen besteht, welche den Uebergang des Stromes von einer Kohlenspitze zur anderen vermitteln. Hier sehen Sie zwei solcher einander gegenüberstehender Kohlenstäbchen. Wir schliessen den Strom und Sie sehen das blendende Licht. Es würde falsch sein, wenn man annehmen wollte, die Lichterscheinung wäre eine einfache Folge der Verbrennung der Kohlentheilchen, denn stellt man denselben Versuch in einem luftleeren Raume an, wo der zur Verbrennung nöthige Sauerstoff fehlt, so bleibt die Erscheinung ganz dieselbe. Die Ursache liegt vielmehr in dem galvanischen Strome selbst.

Interessant ist es, dass das elektrische Licht auch unter Wasser erzeugt werden kann. Bringen wir die Kohlenstäbchen unter Wasser, so entsteht neben dem elektrischen Licht ein lebhaftes Aufbrodeln, welches durch die von der Hitze erzeugten Wasserdämpfe hervorgerufen wird. Die durch den Lichtbogen erzeugte Hitze ist so gross, dass sich die Spitzen sofort mit Wasserdampf umgeben und das Wasser gar nicht direct mit ihnen in Berührung kommt. Diese Erscheinung entspricht der bekannten, dass man die angefeuchtete Hand in flüs-

siges, weissglühendes Metall eintauchen kann, ohne sich zu verbrennen.

Wir haben somit die physikalischen Grundlagen besprochen, auf welche sich die meisten technischen Anwendungen des galvanischen Stromes zurückführen. Die wichtigste unter ihnen ist ohne Frage die elektromagnetische Telegraphie, welche den Gegenstand des nächsten Vortrages bilden wird.

# Zweiter Vortrag.

## Telegraphie und Telephonie.

---

Wie zwei Menschen durch den Austausch ihrer Gefühle, ihrer Interessen, ihrer Weltanschauungen einander näher treten, und wie durch diesen Austausch manche Schroffheiten und Härten im Charakter des anderen sich in milderem Lichte zeigen, so geht es auch ganzen Völkerstämmen, ganzen Menschenracen.

In den frühesten Zeiten unseres deutschen Vaterlandes beschränkte sich der Verkehr auf den engen Kreis der Familie, durch räumliche Entfernung gehindert fanden die gemeinsamen Interessen der einzelnen Familien einer und derselben „Sippe“ nur unvollkommene Nahrung und noch mehr traten diejenigen eines ganzen Volksstammes in den Hintergrund.

Viel enger führte das Mittelalter unsere Vorfahren zusammen. Städte und Klöster wurden gegründet, die Bollwerke gegen die Willkür und den Uebermuth einzelner bevorzugter Ritterfamilien. Bald blühten, durch geistigen Verkehr und materiellen Vortheil gefördert, Wissenschaft, Kunst und Handel. Landstrassen durchziehen nach allen Richtungen die deutschen Gauen, und der Hansabund umklammert wie durch ein Netz mit festen Maschen die wichtigsten Pflanzstätten der Cultur. Was aber hätte aller Handel, aller Verkehr genützt, wenn nicht noch ein anderes und wichtigeres Verkehrsmittel am Ende des Mittelalters das Licht der Welt erblickt hätte — die Buchdruckerkunst —. Sie war es, welche die Gedanken des Einzelnen ohne grossen Zeitverlust nach allen Richtungen hin verbreitete, und Tausende konnten mit empfinden, mit erleben, was bei münd-

licher Uebertragung oder bei langsamer Mönchsschrift längst in das Bereich der Vergangenheit gehört hätte.

Wahrlich! was im Mittelalter die Landstrassen und die Buchdruckerkunst unserem Vaterlande gewesen sind, das ist in unserer heutigen Zeit die Eisenbahn und der Telegraph den Nationen der Welt geworden!

Mag immerhin die Meinung als allzu optimistisch gelten —, zumal in einer Zeitperiode, wo bis zu den Slovenen und Kroaten herunter sich jeder Sprachstamm Geltung zu verschaffen sucht —, dass wie im Mittelalter die Landstrassen und die Buchdruckerkunst die Völkerstämme zu Nationen vereinigte, auch einst die Eisenbahn und der Telegraph die Nationen zu einer einzigen grossen Völkerfamilie vereinigen werde. Traten doch erst vor wenigen Monaten Männer aus allen cultivirten Nationen in Berlin zusammen, um die für die ganze Welt gültigen Grundlagen des telegraphischen Verkehrs festzustellen, und ist nicht schon ein internationaler Postverkehr vorhanden! Es sind dies Erscheinungen, welche die Vorläufer bilden zu internationalen Vereinigungen auch auf anderen Gebieten. Die Telegraphendrähte sind die Nerven der menschlichen Gesellschaft! und wie im Organismus des einzelnen Menschen von verschiedenen Centren aus durch die Nerven die Thätigkeit der einzelnen Organe regiert wird und doch eine Harmonie im Ganzen stattfindet, so ist auch trotz aller Verschiedenheit eine Harmonie zwischen den Nationen der Erde recht wohl denkbar.

Erlassen Sie mir die unzähligen Vortheile zu schildern, welche die Telegraphie auch im engeren Kreise, im täglichen Leben darbietet, wie durch sie die öffentliche Sicherheit, der Handel gehoben werden, wie sie selbst zu dem äusseren Wohlbehagen der Menschen beiträgt. Wer hätte sich nicht schon einmal in einem einsamen Dörfchen in irgend einem abgelegenen Winkel der Alpen befunden mit dem Gefühl der Einsamkeit und Verlassenheit? und doch der einfache Draht, der auf hölzernen Stangen durch das Dörfchen führt, er bringt uns zum Bewusstsein, dass die Schranken des geistigen Verkehrs, der Raum und die Zeit überwunden sind.

Wenn man die Entwickelung der Pflanzen, der Menschen betrachtet, so findet man immer ein stetiges Fortschreiten von

Stufe zu Stufe, die Natur liebt sprungweise Aenderungen nicht! So verhält es sich auch mit der Wissenschaft und speciell mit der Telegraphie. Aus einem kleinen Samenkorn ist ein grosser Baum entstanden. Um in das Wesen der Telegraphie einzudringen, thut man am besten, den historischen Weg zu betreten.

Schon lange vor der Entdeckung des galvanischen Stromes durch Galvani und Alexander Volta wurden die ersten Versuche gemacht, auf die Elektricität eine Telegraphie zu begründen. Es stand zu jenen Zeiten nur die durch Reibung erzeugte Elektricität zur Disposition, und da diese sich zur Telegraphie wenig eignet, so kann es nicht Wunder nehmen, dass jene ersten Versuche, selbst in dem Falle, wo sie glückten, eine weitere Verbreitung nicht fanden. Wir wollen nur einige der wichtigsten von ihnen betrachten.

Im Jahre 1774 spannte Lesage in Genf 24 isolirte Drähte zwischen zwei Punkten auf, von denen der eine die Aufgabe-, der andere die Endstation darstellte. Die Enden der isolirten Drähte versah er mit zwei Pendeln aus Hollundermark. Jeder Draht entsprach dabei einem Buchstaben des Alphabetes. Wurde nun in der Aufgabestation einem der Drähte durch die Elektrisirmaschine Elektricität mitgetheilt, so pflanzte sich die Ladung fast momentan durch den Draht zu dem anderen Ende fort; das dort aufgehangene Pendelpaar lud sich mit Elektricität, und da zwei mit gleicher Elektricität geladene Körper sich abstossen, divergirten die beiden Pendel. Diese Divergenz zeigte dem Empfänger den Buchstaben an, welchen der Absender mittheilen wollte.

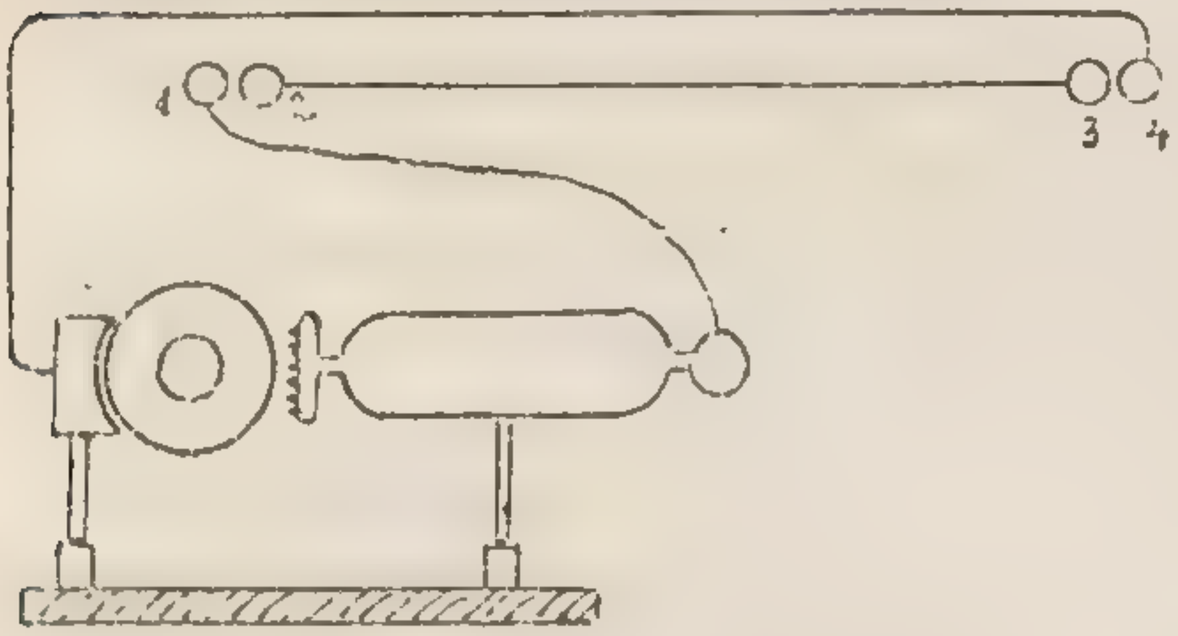
Hier sehen Sie einen von den 24 Drähten und an seinen Enden die Pendelpaare. Theilt man dem Draht an der Aufgabestation Elektricität mit, so divergiren die Pendel in der Endstation.

Im Jahre 1794 benutzte Reiser den elektrischen Funken als sichtbares Zeichen zur Telegraphie, indem er die Buchstaben durch überspringende Funken sichtbar machte. Dass dieser Vorschlag wirklich ausführbar ist, davon wollen wir uns überzeugen, indem wir nicht bloss einen Buchstaben, sondern sogar ein ganzes Wort durch Funken darstellen.

Eine grössere Wichtigkeit erlangte 1798 Salva's Telegraph, weil seine Vorrichtung erstens nur zwei Verbindungsdrähte

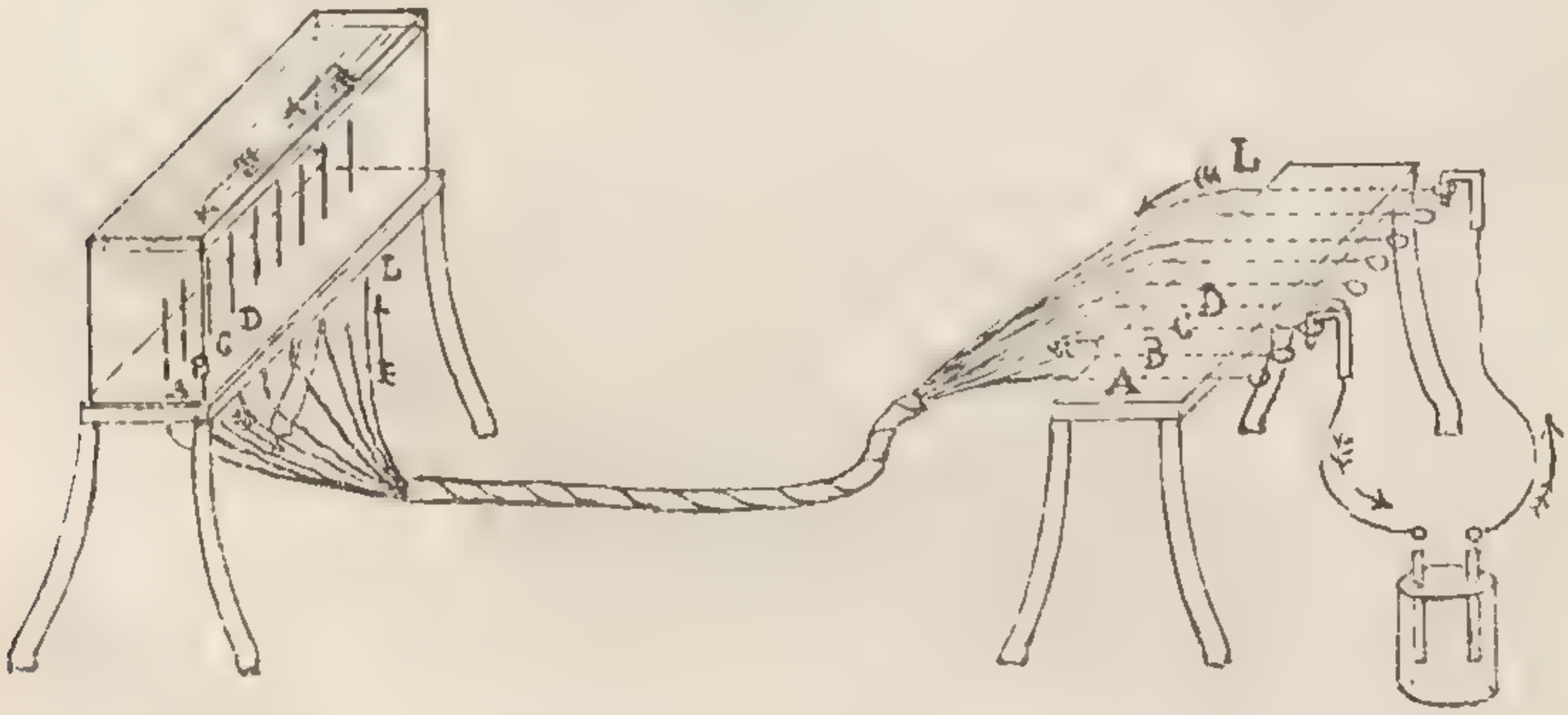
zwischen den Stationen voraussetzte, und weil zweitens dieselbe wirklich eine Zeit lang zwischen Madrid und einem in der Nähe gelegenen Lustschlosse in Thätigkeit kam. An den beiden Endpunkten der Telegraphenlinie stellte Salva ein Paar metallene Knöpfe einander gegenüber, 1 und 2, 3 und 4, und verband, wie Fig. 18, zeigt, 2 und 3 mit einander, ferner 1 mit dem Conductor, 4 mit dem Reibzeug einer Elektrisirmaschine. Wurde die Elektrisirmaschine gedreht, so entlud sich der Conductor über 1, 2, 3 und 4 nach dem Reibzeug, und gleichzeitig sprang ein Funke zwischen den Knöpfen 1 und 2, 3 und 4 über.

Fig. 18.




Hier haben Sie Salva's Telegraph reproducirt; da durch die Zahl rasch auf einander folgender Funken die Buchstaben bezeichnet werden können, so war damit der telegraphische Verkehr zwischen zwei Stationen gegeben.

Fig. 19.




Die Elektricität der Elektrisirmaschine bedarf gegenüber dem galvanischen Strom eine viel bessere Isolation. Schon feuchte Luft genügt, jede noch so sorgsam ausgeführte Isolation illusorisch zu machen. Daher erklärt es sich auch, dass Salva's

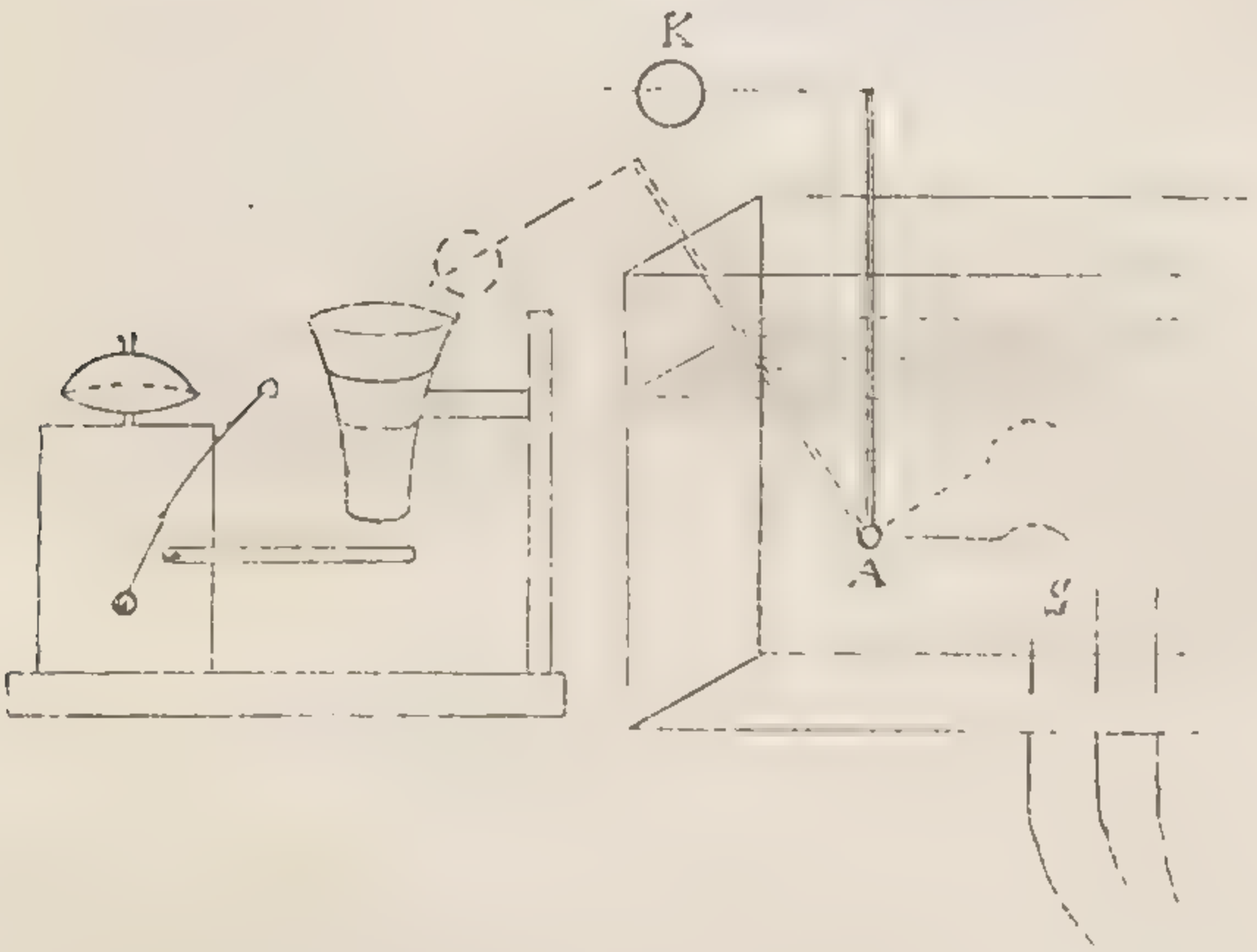
Telegraph nur an wenigen, besonders trockenen Tagen in Betrieb gesetzt werden konnte. Erst nach Entdeckung des galvanischen Stromes durch Volta im Jahre 1793 konnte an eine elektrische Telegraphie gedacht werden. Bereits im Jahre 1808 construirte Samuel Thomas Sömmering, Königlicher Leibarzt in München, einen telegraphischen Apparat, welcher sich auf die Wasserzersetzung durch den galvanischen Strom gründet. Sein Apparat findet sich in Fig. 19 (a. v. S.) abgebildet.

Sömmering verband die beiden Stationen anfangs durch 35, später durch 27 von einander isolirte Kupferdrähte, welche zusammen in einen Strang vereinigt wurden. Die Enden der Drähte liess er in der einen Station in vergoldete Spitzen auslaufen, welche durch den Boden eines mit Wasser gefüllten Kastens gleich hoch hervortraten, und über jede derselben war ein kleines mit Wasser gefülltes Reagensgläschen gestülpt, welche in der Figur nicht mit gezeichnet sind. Auf der anderen Station führten die Drähte zu einer Reihe Oesen, die in einer Leiste befestigt waren. Endlich wurde Drahtspitze und Oese eines und desselben Drahtes mit demselben Buchstaben bezeichnet. Die Telegraphie wurde nun auf folgende Weise vermittelt. Man verband ein- für allemal den positiven Pol eines Elementes mit der Oese *L* desjenigen Leitungsdrahtes, durch welchen der Strom nach der Endstation hinströmte, sodann stellte man die Verbindung des negativen Poles des Elementes mit derjenigen Oese her, die den Buchstaben trug, welcher telegraphirt werden sollte. Es sei dies z. B. C. Der galvanische Strom geht dann von dem Element über die Oese *L* zu der Drahtspitze *L*, von hier aus durch das Wasser nach der Drahtspitze *C*, nach der Oese *C* und schliesslich zum Element zurück.

Bei dem Durchgange des Stromes durch das Wasser wird dasselbe zersetzt. Der Wasserstoff entwickelt sich an der Spitze *C*, der Sauerstoff an *L*, die an *C* aufsteigenden Wasserstoffbläschen zeigen dem Beobachter an, dass der Buchstabe C telegraphirt wird. Wird das Element anstatt mit *C* mit der Oese irgend eines anderen Buchstabens verbunden, so entwickelt sich der Wasserstoff an der diesem Buchstaben correspondirenden Drahtspitze und man kann also auf diese Weise Worte, ganze Sätze, von einer Station zur anderen telegraphiren.

Den Umstand, dass die Wasserstoffentwickelung ohne alles Geräusch vor sich geht, und folglich der Empfänger von dem Beginn der Depesche durch nichts aufmerksam gemacht wird, umging Sömmering dadurch, dass er eine Weckvorrichtung mit seinem Telegraphen verband. Sie ist in Fig. 20 besonders dargestellt. In dem Wasserkasten, in welchen die Drahtspitzen einmünden, brachte er einen Winkelhebel von der Form eines lateinischen Z an, der sich um den Punkt *A* dreht. Den unteren horizontalen Arm bildet ein Löffel, unter welchen eine Drahtspitze *S* geführt ist. Der obere horizontale Theil ist ein Draht,

Fig. 20.




längs welchem die durchbohrte Kugel *K* sich leicht verschieben lässt. Man giebt der Kugel anfänglich eine solche Stellung, dass der Hebel gerade im Gleichgewicht ist. Lässt man nun vor Beginn der Depesche den Strom durch *S* zurückkehren, so entwickelt sich an *S* Wasserstoff. Derselbe sammelt sich unter dem Löffel an, hebt ihn in die Höhe und dreht damit den Hebel. Die bewegliche Kugel *K* gleitet durch ihr Gewicht von dem schrägen Stift herab und fällt, von einem Becher aufgenommen, auf den hervorstehenden Hebel eines Weckers, dessen Uhrwerk dadurch ausgelöst wird.

So ingeniös auch Sömmering's Telegraph ausgedacht ist, zur Ausführung im Grossen war er ungeeignet, in so fern,

als um in grösseren Entfernungen Wasser zu zersetzen, sehr starke und dabei andauernd wirksame Elemente nöthig sind, welche zu Sömmering's Zeit nicht vorhanden waren. So ruhte die Telegraphie, bis im Jahre 1820 Oerstedt den Elektromagnetismus und bald darauf Arago die Magnetisirung des Eisens durch den galvanischen Strom entdeckte. Zahlreiche Vorschläge waren die Folge dieser Entdeckungen, wie besonders diejenigen von Ampère, Ritchie, Davy, Fechner, Schilling von Cannstadt. Doch keiner dieser Vorschläge gelangte zur Ausführung, und so kam es, dass erst im Jahre 1833 der erste auf den Elektromagnetismus sich gründende Telegraph durch Carl Friedrich Gauss und Wilhelm Weber gebaut und in grösserem Maassstabe zur Anwendung gebracht wurde.

Es handelte sich zu jener Zeit, gleichzeitige magnetische Beobachtungen in der Sternwarte zu Göttingen und in dem etwa eine halbe Stunde von ihr entfernten physikalischen Institut anzustellen. Die Zweckmässigkeit und die Bequemlichkeit, sich bei diesen Beobachtungen jeder Zeit telegraphisch verständigen zu können, bildete die erste Veranlassung zur Herstellung des Telegraphenapparates.

Zwei Kupferdrähte von circa 9000 Fuss Gesammtlänge wurden über die Dächer der Stadt nach einem der Stadtthürme und von ihm aus nach der Sternwarte geführt und die Enden dieser Drähte in jedem Institute mit einem grossen Galvanometer verbunden. Schaltete man ausserdem in den Stromkreis noch ein galvanisches Element ein, so zeigte sich, dass bei Stromschluss beide Galvanometernadeln gleichzeitig abgelenkt wurden, und auf solche Ablenkungen gründete sich die Telegraphie. Da die Versuche bald ergeben hatten, dass die Erzeugung der Ströme durch Magnetinduction vortheilhafter war als durch galvanische Elemente, so wurde später die Magnetinduction zur Erzeugung der Ströme beibehalten. Fig. 21 stellt die ganze telegraphische Verbindung dar. *G* sind die beiden Galvanometer. Die Ablenkungen der in ihren Hohlräumen aufgehangenen Magnete wurden durch Fernröhre beobachtet, welche auf kleine, mit den Aufhängefäden fest verbundene Spiegel gerichtet waren. Die Galvanometer standen theils unter sich, theils mit zwei Drahtrollen *R* durch Leitungsdrähte in Verbindung, welche über zwei

Magnete geschoben waren, und die mit zwei Handgriffen gehoben und gesenkt werden konnten. Dabei waren die Magnete in zwei Dreifüssen senkrecht aufgestellt. Wird nun die Rolle *R*

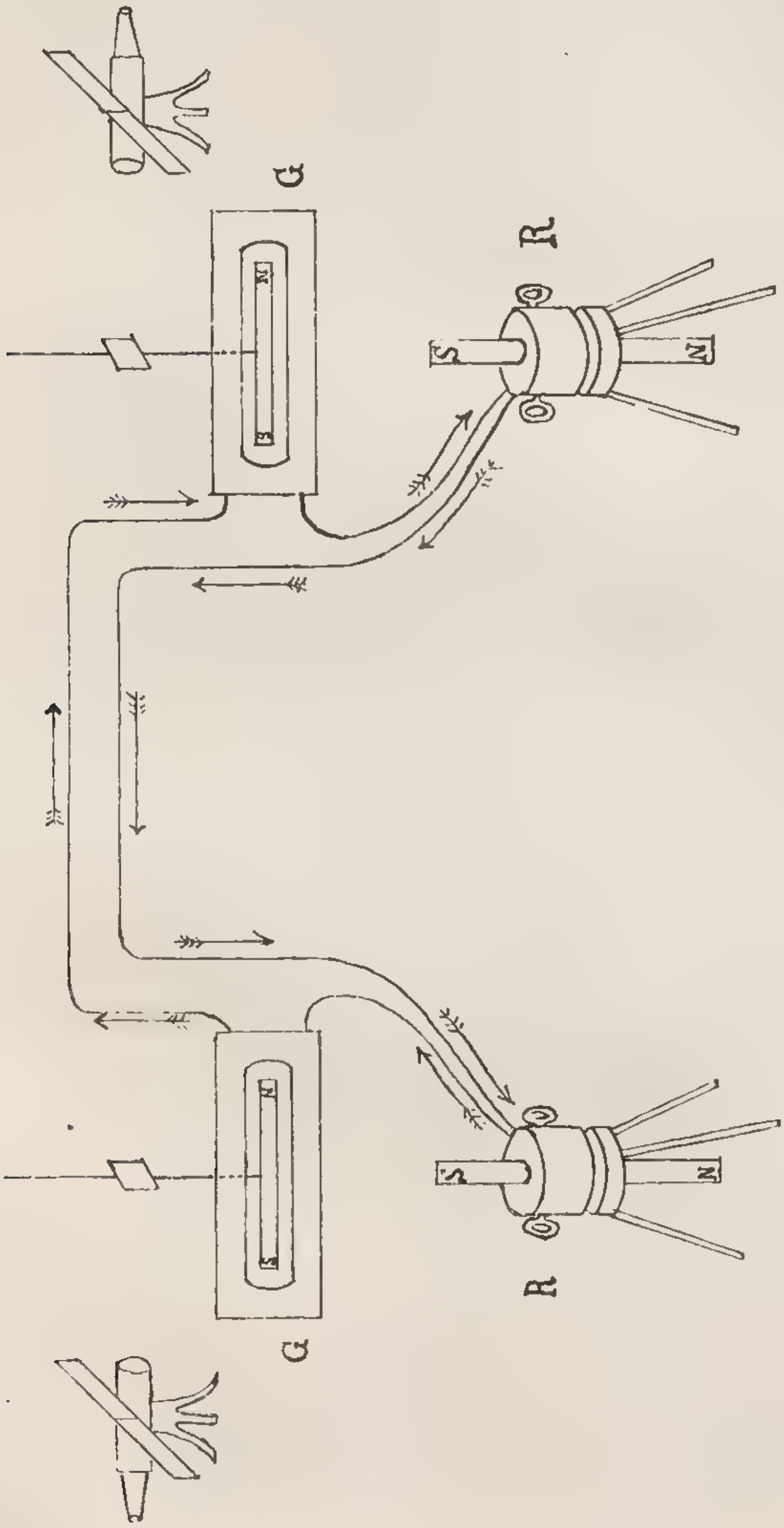



Fig. 21.

z. B. kurz gehoben und dann gesenkt, so entstehen in derselben hinter einander zwei gleich starke aber entgegengesetzte Ströme, welche in beiden Stationen eine Zuckung der Nadel nach rechts bewirken. Vertauscht man sodann die beiden in die Rolle *R* einmündenden Drähte mit einander, was durch eine besondere Vorrichtung, durch den Commutator, rasch geschehen kann, und hebt und senkt die Rolle von Neuem, so machen jetzt beide Nadeln eine Zuckung nach links. Man hat von jeder der beiden Stationen aus die Bewegung der Nadel völlig in der Hand und kann auf sie leicht ein Alphabet gründen. So bedeutete eine Zuckung nach rechts A, eine nach links B, zwei Zuckungen nach rechts I, eine nach rechts und eine nach links O u. s. f.

Wir können das Verfahren mit Hülfe eines Galvanometers leicht darstellen. Jetzt z. B. wird die Nadel nach rechts, jetzt nach links abgelenkt.

Obgleich der telegraphische Verkehr zunächst bloss wissenschaftlichen Zwecken dienen sollte, erkannte man die grosse Bedeutung, welche die Vorrichtung für das öffentliche Leben haben musste, sehr wohl. Es erging daher von Göttingen aus an Steinheil in München die Aufforderung, die telegraphische Methode für das praktische Leben weiter auszubilden. Steinheil kam dieser Aufforderung in glänzender Weise nach, indem es ihm gelang, den ersten Schreibtelegraphen zu construiren. Er errichtete eine Telegraphenlinie von mehr als 10 km Länge, indem er seine Wohnung mit dem physikalischen Institut und der Sternwarte in Bogenhausen bei München in Verbindung setzte.

Aber ganz abgesehen von dem sinnreichen Apparat hat sich Steinheil ein grosses Verdienst um die Telegraphie durch die Entdeckung erworben, dass die Erde den galvanischen Strom leitet. Hatte man früher zur Hin- und Rückleitung des Stromes immer zwei Drähte gebraucht, so bedurfte man jetzt nur noch einen. Es genügt, die Enden des Leitungsdrahtes mit Kupferplatten zu verbinden, und diese in feuchte Erde einzusenken. Selbstverständlich muss aber in diesem Falle die Leitung zwischen den beiden Stationen sorgsam von der Erde isolirt werden, indem man dieselbe, wenn sie oberirdisch ist, über Stangen mit Isolirglocken leitet, wie wir sie noch heute überall ausgeführt finden,

oder wenn sie unterirdisch ist, indem man den Draht mit isolirendem Material, Guttapercha, umgab.

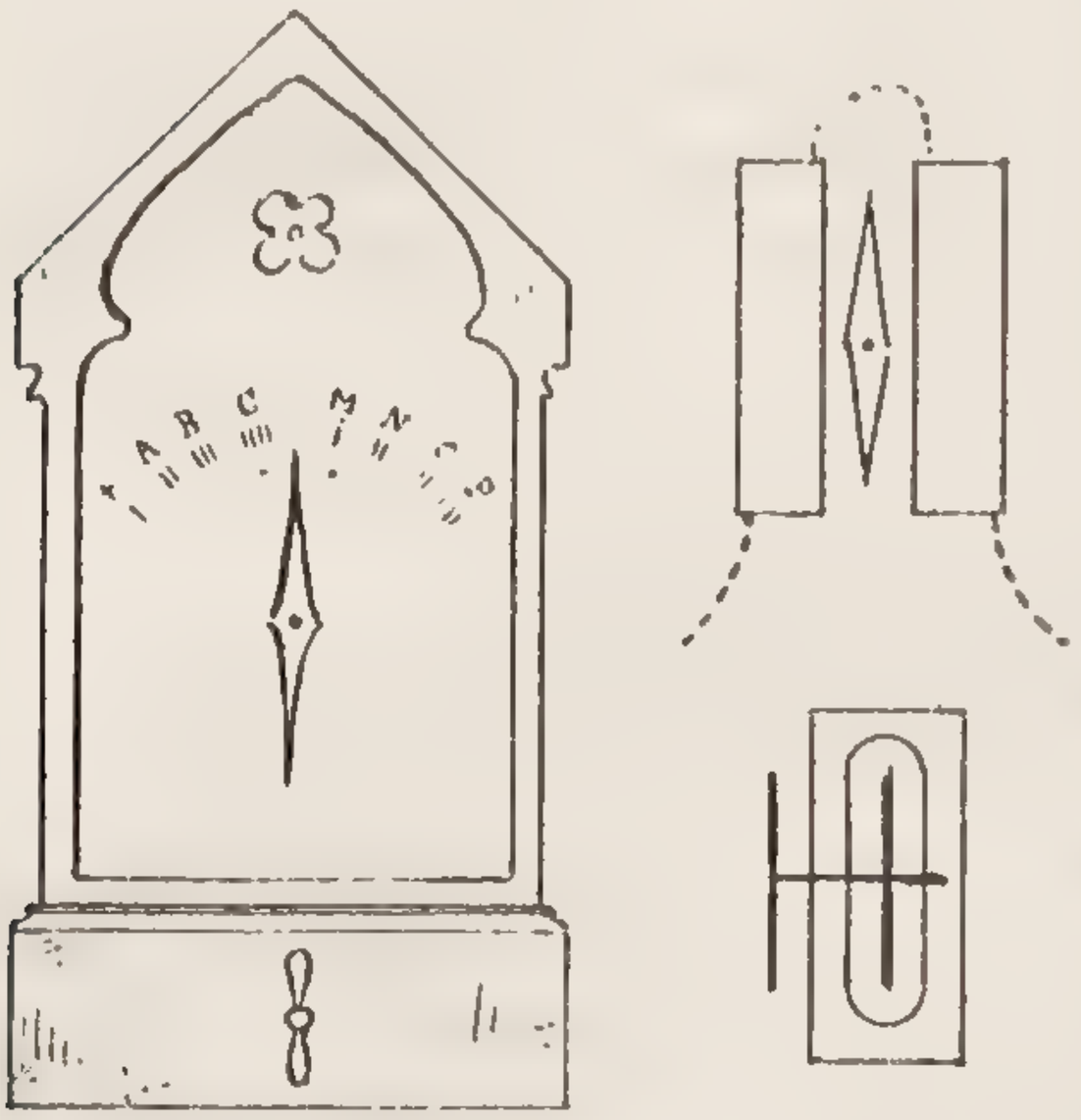
Zur selben Zeit, als sich Steinheil mit seinen Versuchen beschäftigte, wandten sich zwei Engländer, Wheatstone und Cooke, der elektrischen Telegraphie zu, indem sie sich zum Ziele setzten, die eben erst erbauten Eisenbahnen mit Telegraphenlinien zu versehen. Der Gedanke, längs der Eisenbahnen Telegraphenlinien zu errichten, war kein neuer. Denn unmittelbar nach den Göttinger Versuchen waren mit dem Directorium der Leipzig-Dresdener Bahn Unterhandlungen eingeleitet worden, welches sich auch bereit erklärte, zunächst zwischen Leipzig und Riesa eine Telegraphenlinie einzurichten. Aber einige auf der Bahn vorgekommene Unglücksfälle, welche grössere Ausgaben nöthig machten, veranlasste die Gesellschaft, von dem Aufwand weiteren Capitals für diesen Versuch Abstand zu nehmen, und so erlangten die in Geldangelegenheiten weniger zaghaften Engländer die Ehre, den ersten Eisenbahntelegraph zu errichten.

Der von Wheatstone und Cooke hergestellte Telegraph, ein sogenannter Nadeltelegraph, war nur in seiner Anordnung von dem Göttinger Apparate verschieden. Zuerst wurden in jeder Station fünf Nadeln aufgestellt und das Alphabet aus Combinationen von Ablenkungen der fünf Nadeln zusammengestellt. Fünf Nadeln machten aber auch fünf getrennte Leitungen nöthig, ein Umstand, der Wheatstone veranlasste, sich später auf eine einzige Nadel zu beschränken.

Dieser Nadeltelegraph war bis vor Kurzem in Folge eines Patentes der in England einzige allgemein verbreitete Telegraph, und erst in neuerer Zeit hat sich der in der ganzen Welt eingeführte Telegraph von Morse auch dort Eingang verschafft. Die wesentlichen Theile sind in Fig. 22 (a. f. S.) abgebildet. Zwischen zwei kleinen Multiplicatoren — es sind dies Rahmen, welche mit Drahtverbindungen umgeben sind — ist eine verticale, um ihre Mitte drehbare Nadel aufgehangen. Lässt man einen Strom durch die Multiplicatoren in der einen Richtung hindurchgehen, so wird die Nadel nach rechts, bei entgegengesetzter Richtung des Stromes nach links abgelenkt. Die Nadel ist durch eine Achse mit einer zweiten Nadel fest verbunden, welche als Zeiger dient, und welche — wie in der dritten Figur dargestellt ist — aus dem

Gehäuse des Apparates hervortritt. Ausserdem befindet sich am unteren Theile des Gehäuses ein Griff, durch dessen Drehung nach links oder nach rechts der galvanische Strom so durch die Multiplicatoren geleitet wird, dass die Nadel in beiden Stationen nach links oder nach rechts abgelenkt wird. Wie bei dem Göttinger Apparat wird das Alphabet durch Combinationen von Ausschlägen nach links und nach rechts gebildet. Bei dem praktischen Gebrauch bewegt sich die Nadel so rasch nach links und nach rechts, dass dem ungeübten Beobachter die Nadel beim Telegraphiren in steter Bewegung zu sein scheint.

Fig. 22.

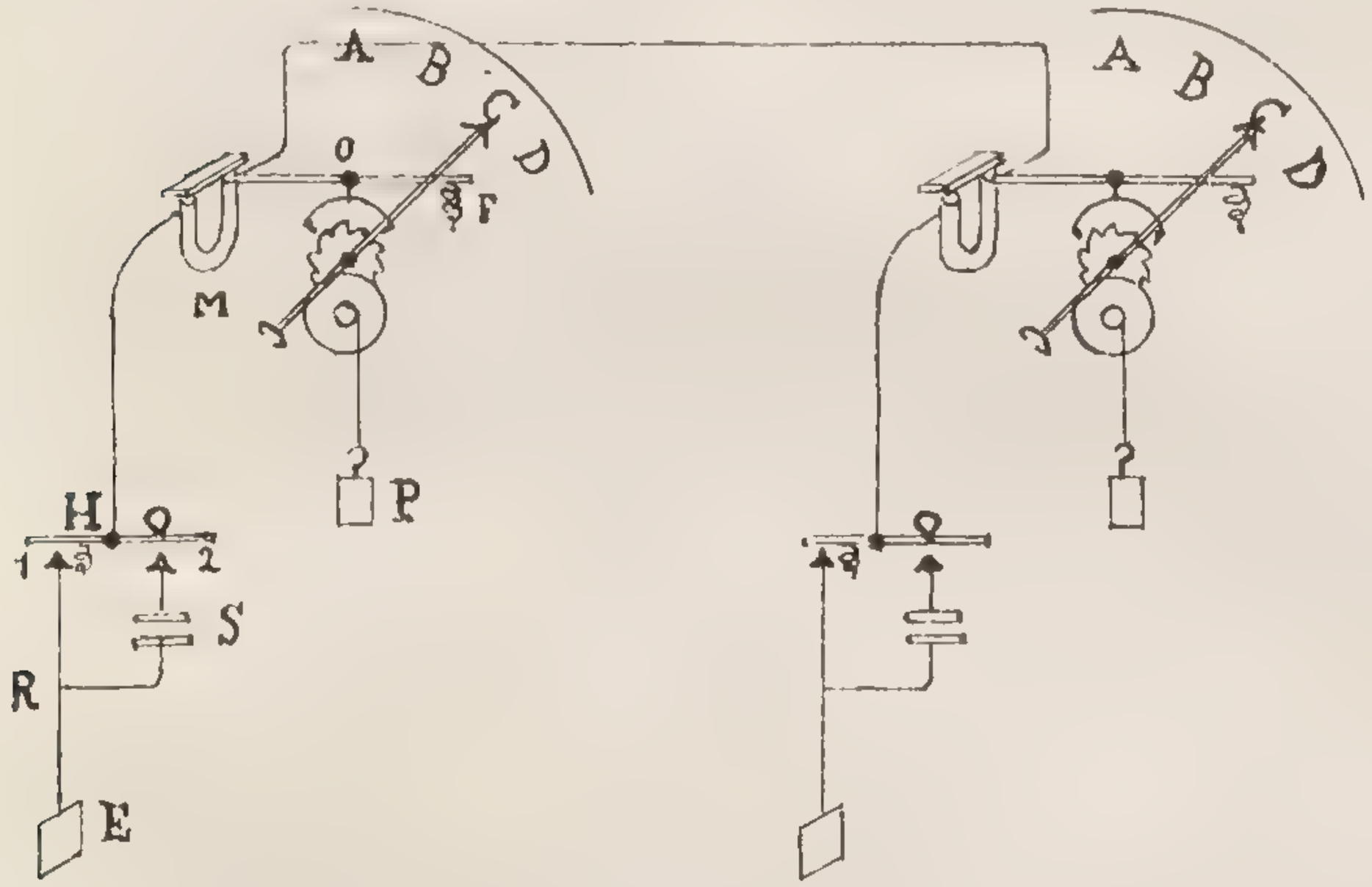


War dieser Nadeltelegraph eine Analogie des Göttinger Apparates, so gilt dies nicht mehr von einer zweiten Art von Telegraphen, dem Zeigertelegraphen, den Wheatstone zuerst construirte, und der längere Zeit hindurch alle anderen Telegraphen in den Hintergrund gedrängt hat. Derselbe beruht auf der von Arago entdeckten Eigenschaft des galvanischen Stromes, weiches Eisen in einen Magnet zu verwandeln. Von Wheatstone selbst sind mehrere und nach ihm von Anderen eine grosse Zahl von Zeigertelegraphen construirt worden, die in der Ausführung der einzelnen Theile zwar wesentliche Verschiedenheiten zeigen, in den Grundprincipien aber übereinstimmen. Ich beschränke mich darauf, nur einen zu besprechen, den ich Ihnen vorzeigen kann.

Oberhalb eines Hufeisenmagneten *M*, wie Fig. 23 zeigt, ist ein um die Achse *O* drehbarer Hebel angebracht, welcher an seiner vorderen, den Polen gegenüber liegenden Seite eine Eisenplatte trägt, an seinem anderen Ende dagegen mit einer Feder *F* verbunden ist, die die Eisenplatte von dem Magneten zu entfernen

strebt. An der Achse *O* ist ein englischer Haken, in der Art wie bei jeder Pendeluhr, angebracht, welcher in die Zähne eines Zahnrades abwechselnd eingreift und dadurch die Drehung des Rades hindert, in welche das Gewicht *P* dasselbe versetzen würde. Wird nun durch einen Strom der Elektromagnet *M* in magnetischen Zustand versetzt, so zieht er die Eisenplatte an, der Hebel dreht sich, und der englische Haken lässt das Zahnrad um einen Zahn weiterspringen. Wird der Strom unterbrochen, so wird der Elektromagnet unmagnetisch, die Feder *F* führt den Hebel in die frühere Lage zurück, und der englische Haken lässt das

Fig. 23.




Zahnrad wiederum um einen Zahn weiter passiren. Befestigt man also an der Achse des Zahnrades einen Zeiger, so sieht man leicht ein, dass durch abwechselndes Schliessen und Oeffnen des galvanischen Stromes der Zeiger sich sprungweise fortbewegen muss. Den Zeiger lässt man auf die einzelnen Buchstaben des Alphabetes einspielen. Um den galvanischen Strom auf bequeme Weise abwechselnd schliessen und öffnen zu können, dient der Hebel *H*. Der hintere Theil des Hebels steht an der Stelle 1 in Contact mit einer Leitung, welche zu der in die Erde eingesenkten Platte *E* führt, unterhalb des vorderen Theils des Hebels liegt ein zweiter, aber nicht in Berührung befindlicher Contactpunkt 2,

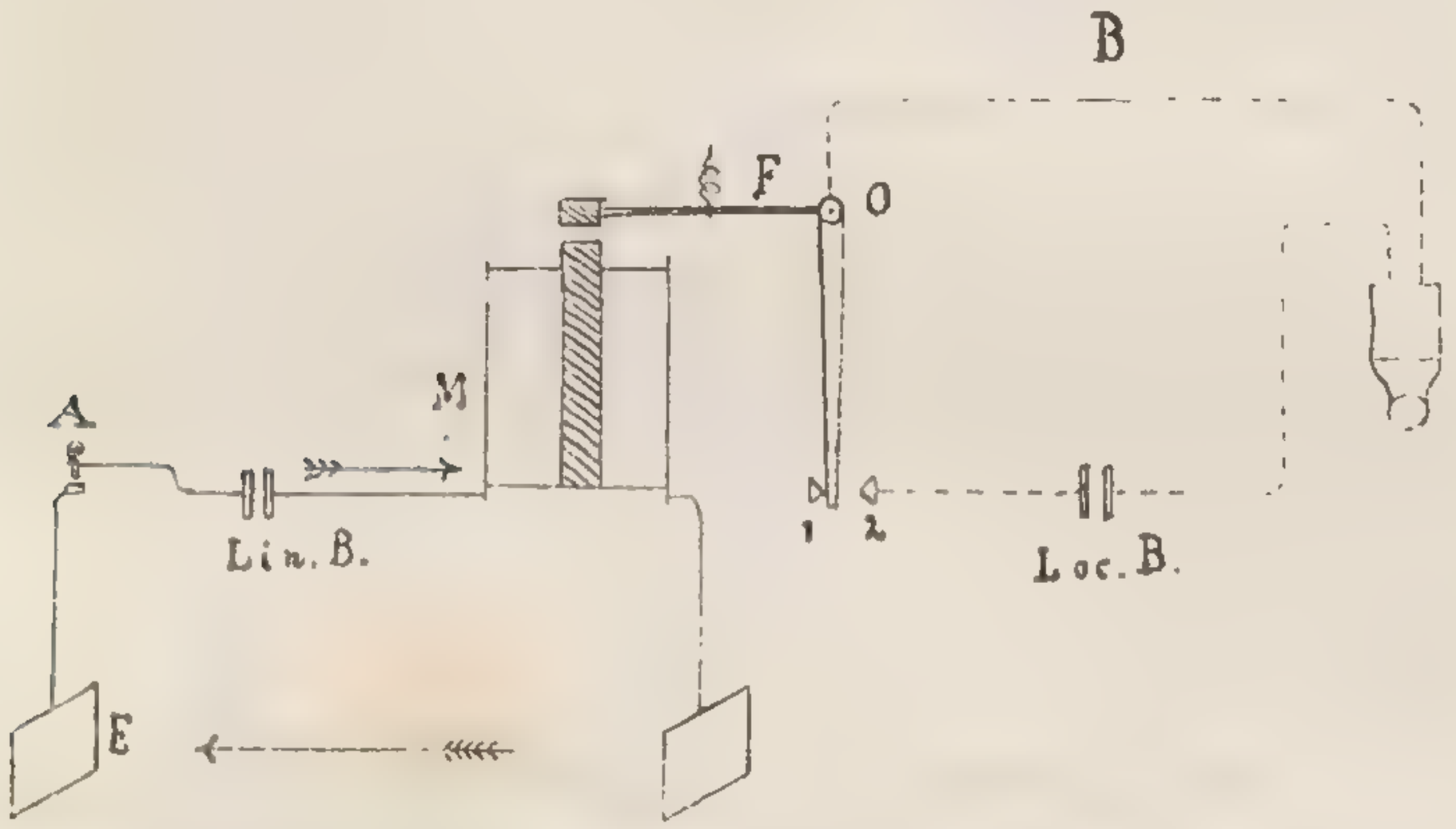
der mit den galvanischen Elementen *S*, dem Punkte *R* und der Erdplatte *E* in Verbindung steht.

Auf ganz gleiche Weise ist der Apparat auf der zweiten Station eingerichtet, und wie die Zeichnung zeigt, sind beide Elektromagnete durch eine Drahtleitung unter einander verbunden. Man übersieht leicht, dass bei der gezeichneten Stellung der beiden Hebel *H* kein Strom circulirt, da die galvanischen Elemente in offene Drahtenden eingeschaltet sind. Wird aber der Hebel *H* niedergedrückt, so wird dadurch der Contact 1 aufgehoben, der Contact 2 dagegen hergestellt. Jetzt kommen die galvanischen Elemente *S* zur Wirksamkeit. Ihr Strom geht über den Contact 2 durch den Hebel *H* nach dem Elektromagneten *M*, von hier zu der zweiten Station, durch den dortigen Elektromagnet, durch den Hebel zur Erdplatte, durch die Erde zur Erdplatte der Ausgangsstation und zu den Elementen zurück. Beide Elektromagnete werden magnetisch, sie ziehen die Eisenplatten an, und der Zeiger rückt auf beiden Stationen um einen Buchstaben weiter. Wird sodann der Hebel *H* wieder in seine frühere Stellung zurückgeführt und dadurch der Contact 1 wieder hergestellt, so ist der Strom unterbrochen, die Federn *F* ziehen die Hebel der Elektromagnete in ihre frühere Lage zurück, und der Zeiger springt wiederum um einen Buchstaben weiter u. s. f. Hier sehen Sie die beiden Apparate in Thätigkeit. Wir können auf dieselbe Weise von der zweiten Station zu der ersten zurücktelegraphiren.

Ein anderes grosses Verdienst hat sich Wheatstone erworben durch die Entdeckung des Relais, welches einen der wichtigsten Theile unserer heutigen Telegraphenapparate bildet. Wheatstone beabsichtigte mit seinen Telegrahenapparaten eine Alarmglocke zu verbinden, um durch sie dem Telegraphisten die Uebersendung einer Depesche anzukündigen. Allein der Betrieb der Alarmglocken forderte sehr starke Ströme, und selbst diese genügten in vielen Fällen nicht. Die Beseitigung dieses Uebelstandes führte Wheatstone zu der neuen Entdeckung. Das Relais ist eine Vorrichtung, durch welche von einem fernen Standpunkt aus ein Stromkreis auf galvanischem Wege geschlossen oder geöffnet werden kann. Man besitzt heute Relais sehr verschiedener Construction; in Fig. 24 ist dasjenige Relais gezeichnet,

welches hier aufgestellt ist. Dasselbe besteht aus einem kleinen Elektromagneten $M$; über demselben schwebt eine Eisenplatte, welche an dem vorderen Ende eines Winkelhebels befestigt ist, dessen Drehpunkt mit $O$ zusammenfällt. Die Bewegung des Winkelhebels ist durch die Contactpunkte 1 und 2 begrenzt. Die Feder $F$ bewirkt, dass für gewöhnlich der verticale Theil des Hebels mit 1 in Berührung ist. Verbindet man nun den Contactpunkt 2 mit der Localbatterie $B$, die Localbatterie mit der Klingel, und die Klingel mit der Drehungsachse $O$ des Winkelhebels, so sieht man leicht ein, dass wenn durch Drehung des Hebels der Contact 2 hergestellt wird, der Stromkreis, welcher die Local-

Fig. 24.

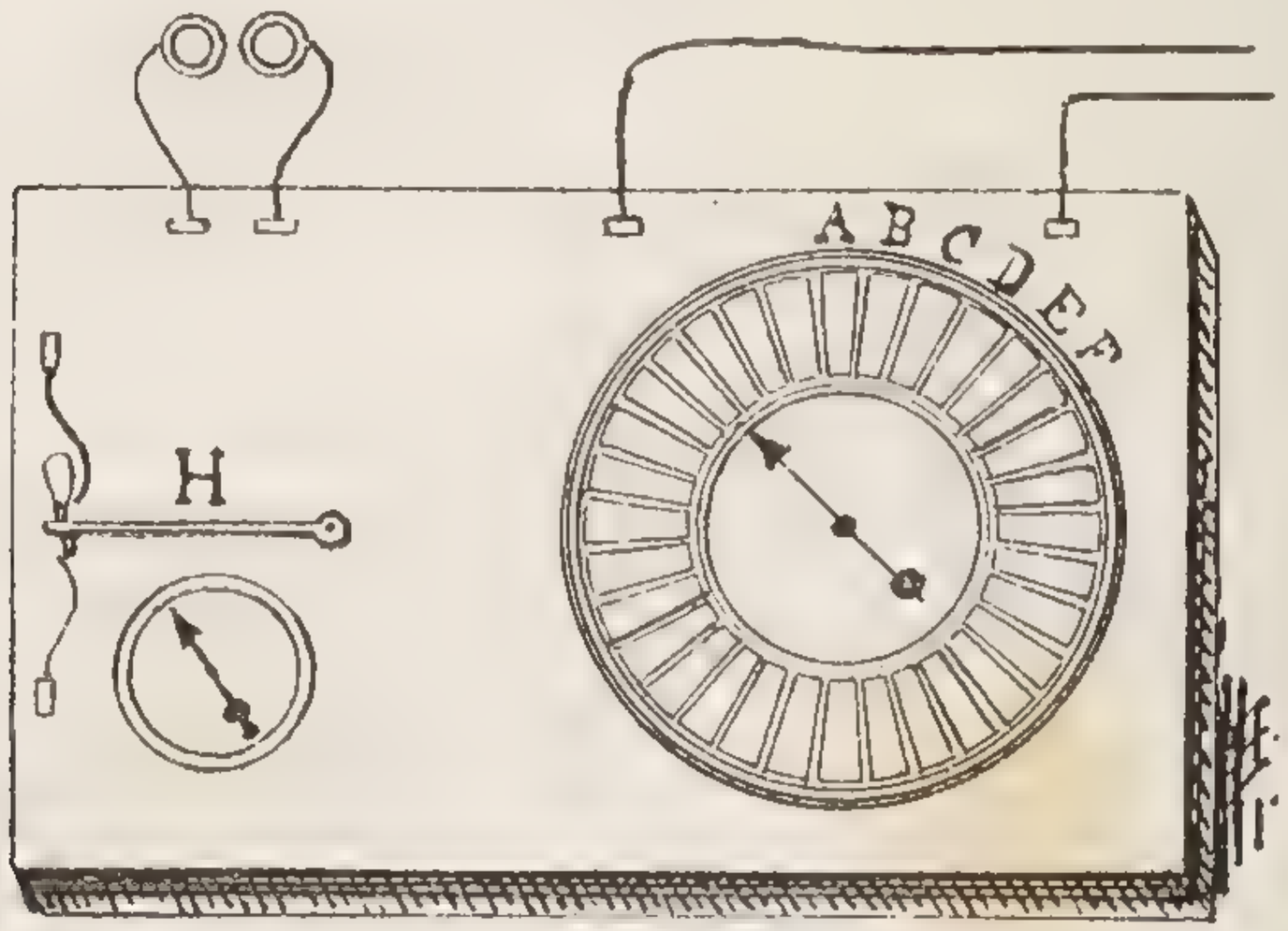



batterie $B$ und die Klingel enthält, geschlossen ist, und die Klingel klingeln wird. Die Bewegung des Winkelhebels wird nun von der fernen Station A aus einfach dadurch bewirkt, dass man durch die Relaisrollen in Station B einen Strom schickt. Es wird dadurch die Eisenplatte angezogen und der Winkelhebel gedreht. Man hat hiernach bei dieser Vorrichtung zwei Ströme von einander zu unterscheiden, einmal den Strom, welcher von der Station A nach der Station B geht und daselbst die Relaisrollen durchläuft. Er wird der Linienstrom genannt. Sodann den Strom, welcher nur in der Station B verläuft, und der erst durch das Relais geschlossen wird. Er heisst der Localstrom. Der Linienstrom kann nun hierbei sehr schwach sein, der Localstrom dagegen ist stark, weil er nur wenig Draht durchläuft.

Aus der grossen Zahl von Zeigertelegraphen, welche nach Wheatstone construirt wurden, greife ich zur Besprechung noch zwei heraus, welche den höchsten Grad der Vollkommenheit zeigen; sie rühren beide von Siemens her.

Bei dem vorher betrachteten Zeigertelegraphen forderte die schrittweise Fortbewegung des Zeigers in beiden Stationen ein abwechselndes Schliessen und Oeffnen des Stromes. Siemens verfuhr umgekehrt, er lässt zwischen zwei Stationen dauernd einen Strom circuliren, welcher in beiden Stationen zwei correspondirende Zeiger anhaltend in Rotation erhält. Durch eine Anzahl mit Buchstaben bezeichnete Tasten wird beim Nieder-

Fig. 25.




drücken von einer derselben die Bewegung beider Zeiger gleichzeitig gehemmt. Beide Zeiger zeigen auf den der niedergedrückten Taste entsprechenden Buchstaben. In Fig. 25 ist einer der beiden Zeigertelegraphen dargestellt. Wird die Taste nicht mehr niedergedrückt, so rotiren beide Zeiger von Neuem, bis die nächste Taste niedergedrückt ist u. s. f. Mit dieser Vorrichtung ist zugleich eine Alarmglocke verbunden, um dem Telegraphisten anzukündigen, dass eine Depesche abgesandt werden soll. Es würde zu kostbar und zugleich unnöthig sein, zwischen den Stationen einen Strom circuliren zu lassen, auch während der Zeit, wo nicht telegraphirt wird. Aus diesem Grunde ist die Einrichtung getroffen, dass durch Verschiebung eines Hebels *H* die ganze Vorrichtung ausser Gang gesetzt werden kann. Das

Telegraphiren geht nun auf folgende Weise vor sich. Gesetzt, es sollte von der Station links nach der Station rechts telegraphirt werden. Alsdann verschiebt der Telegraphist links seinen Hebel. Die Alarmglocke ertönt rechts. Auf dieses Zeichen wird auch auf der Station rechts der Hebel verschoben, und damit der Zeiger in beiden Stationen in Gang gesetzt. Das Telegraphiren geschieht durch Niederdrücken der Tasten. Am Schlusse der Depesche werden auf beiden Stationen die Hebel zur Ruhe gestellt.

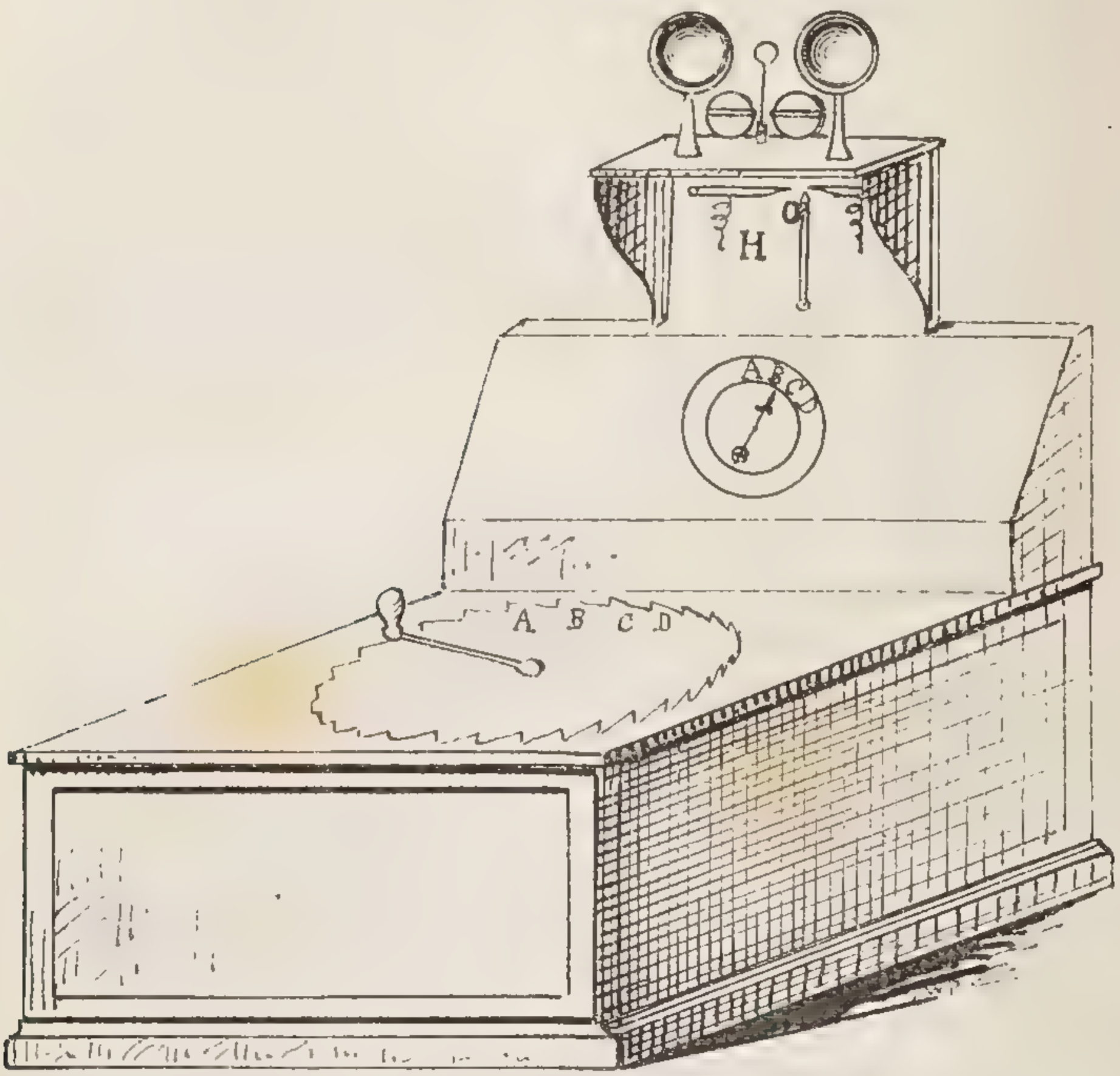
Der vorstehende Apparat ist längere Zeit an den Braunschweiger Bahnen in Thätigkeit gewesen. Er zeichnet sich durch die Bequemlichkeit und die Leichtigkeit aus, mit welcher die Depeschen befördert werden können. Aber der innere Mechanismus ist ein kleines Kunstwerk, und wenn man dem Apparate einen Vorwurf machen soll, so kann es nur der sein, dass seine Einrichtung zu complicirt ist.

Der zweite Zeigertelegraph von Siemens ist der Inductions-Zeigertelegraph. Derselbe hat den Vorzug, dass zu seinem Betriebe eine besondere Batterie nicht nöthig ist, insofern bei ihm der nöthige Strom durch Magnetinduction erzeugt wird. Auf die Art und Weise, wie dies geschehen kann, werde ich bei Betrachtung der Magnetinductionsmaschinen zurückkommen. Von besonderer Wichtigkeit ist dieser Apparat für solche telegraphische Verbindungen, welche seltener in Anspruch genommen werden, wie z. B. bei den Feuertelegraphen.

Jeder der beiden hier aufgestellten Telegraphenapparate besitzt eine Kurbel, Fig. 26 (a. f. S.), welche sich im Kreise herumdrehen lässt. Hinter der Kurbel befindet sich ein Radkranz aus Messing mit grossen Zähnen, in welche die Kurbel eingelegt werden kann, und jeder Zahn ist durch einen besonderen Buchstaben bezeichnet. Wird die Kurbel um einen Zahn vorwärts gedreht, so entsteht jedesmal ein Inductionsstrom, welcher durch die auf beiden Stationen aufgestellten Zeigerapparate hindurchgeht. Die Zeigerapparate befinden sich oberhalb der Kurbel im Gehäuse, und man sieht von ihnen nur die Buchstabenscheibe mit ihrem Zeiger. Der Strom bewirkt, dass beide Zeiger um einen Schritt vorwärts schreiten. Wenn daher die Buchstaben auf der Buchstabenscheibe mit den Buch-

staben der Zähne am Radkranz correspondiren, so wird jeder Buchstabe, auf welchen man die Kurbel in der Ausgangsstation einstellt, durch den Zeiger auf der Endstation angezeigt. Auch hier ist mit dem Telegraphen eine besondere Alarmglocke verbunden. Das praktische Telegraphiren geschieht wie folgt. Der Telegraphist links dreht die Kurbel um 360 Grad. In beiden

Fig. 26.



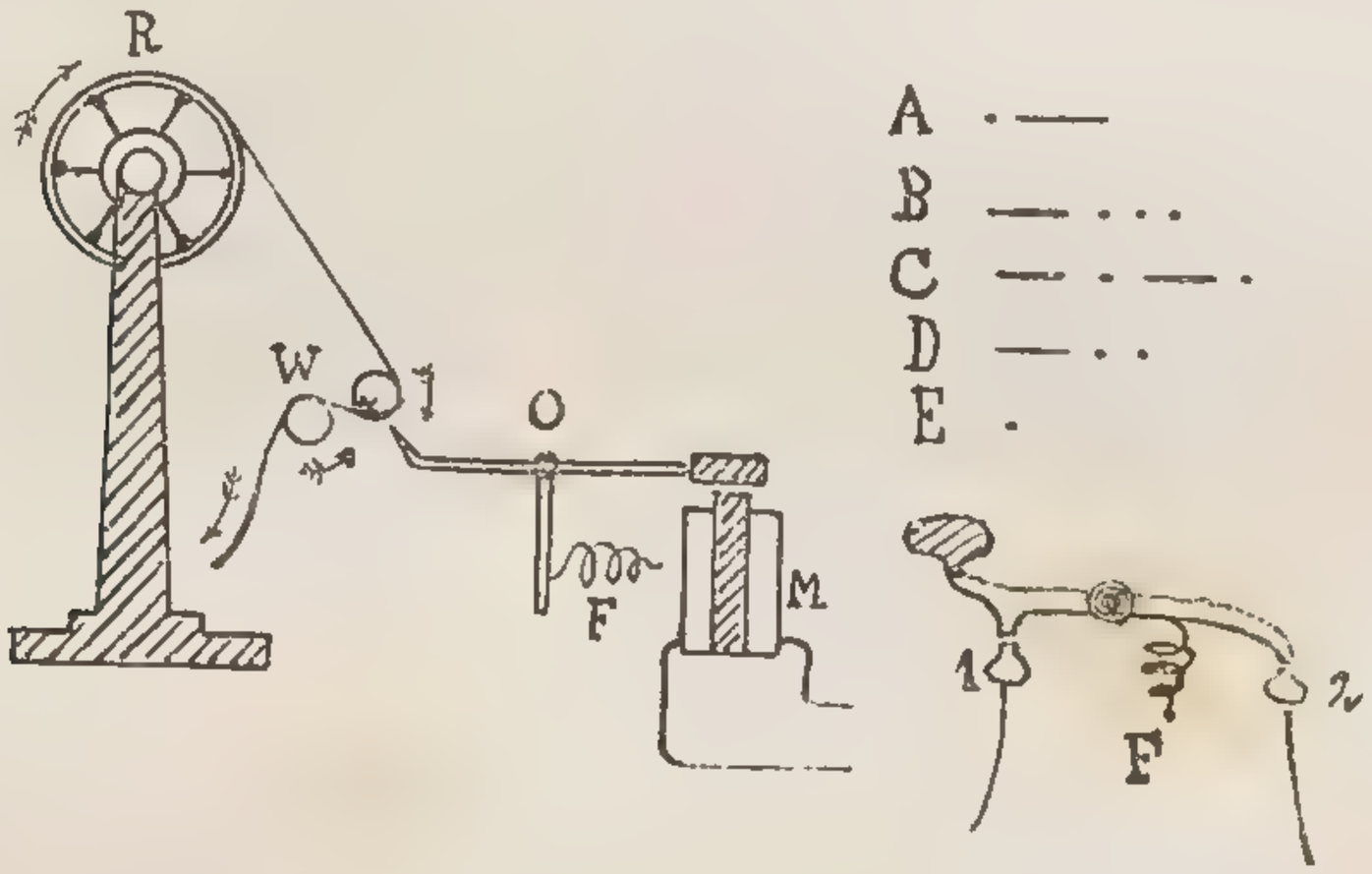

Stationen läutet es. Auf dieses Zeichen verschiebt der Telegraphist auf der Endstation und auch auf der Ausgangsstation einen Hebel *H*, durch welchen das Läutewerk aus-, das Zeigerwerk eingeschaltet wird, worauf alsdann die Aufgabe der Depesche erfolgt.

Wir verlassen jetzt die Zeigertelegraphie und wenden uns zu demjenigen Telegraphen, welcher sich die ganze Welt erobert hat, dem Schreibtelegraphen von Morse. Bereits im Jahre 1837 construirte Morse, ein Amerikaner, seinen damals noch ziemlich

unvollkommenen Apparat, aber im Laufe der Zeit wurde er verbessert; derselbe ist jetzt namentlich in Folge der grossen Sicherheit, mit der er functionirt, und wegen der grossen Einfachheit, die seine Construction auszeichnet, bei allen Nationen der Welt verbreitet. Er besteht aus drei Haupttheilen: 1) Dem Schreibapparat, 2) dem Taster oder Schlüssel, 3) dem Relais. Die beiden erstgenannten Theile sind in Fig. 27 dargestellt.

Ueber dem Elektromagneten *M* ist wieder ein Hebel mit Eisenplatte aufgestellt, der sich um den Punkt *O* dreht. An dem von *O* aus nach unten sich erstreckenden Arme ist eine Feder *F* befestigt, welche, wie leicht zu sehen, die Eisenplatte von dem Elektromagneten zu entfernen strebt. Die andere Seite des

Fig. 27.




Hebels endigt in eine schräg nach oben gerichtete Stahlspitze. Unmittelbar oberhalb von ihr sind zwei Walzen *W* angebracht, welche durch ein Uhrwerk in rotirende Bewegung gesetzt werden und dadurch einen zwischen dieselben eingelegten Papierstreifen gleichmässig fortbewegen. Der Papierstreifen rollt sich von der Papierrolle *R* ab. Lösen wir das Uhrwerk aus, so sehen Sie, wie der Papierstreifen vor der Spitze des Schreibhebels vorbeigeführt wird.

Nehmen wir nun an, es ginge ein Strom durch den Elektromagnet *M*, so wird derselbe die oberhalb von ihm befindliche Eisenplatte anziehen. Der Hebel wird gedreht und die Spitze drückt sich in den Papierstreifen ein. Wird der Strom unterbrochen und damit der Elektromagnet *M* unmagnetisch, so führt

die Feder *F* den Schreibhebel wieder in seine frühere Lage zurück. Ist der Strom andauernd, so muss, da sich der Papierstreifen bewegt, auf diesem nothwendig eine Linie entstehen. Ist er dagegen nur kurze Zeit geschlossen, so entsteht nur ein Punkt. Aus Combinationen von Punkten und Strichen ist aber das internationale Alphabet des Morsetelegraphen zusammengesetzt. So bedeutet z. B. Punkt, Strich den Buchstaben A, Strich und drei Punkte B, Strich, Punkt, Strich, Punkt C u. s. f. Wir können folglich auf dem Papierstreifen alle möglichen Schriftzeichen dadurch hervorbringen, dass wir kurz oder lang andauernde Ströme durch den Elektromagneten hindurchschicken. Um einen kurzen oder langen Stromschluss herzustellen, bedient man sich des zweiten Theiles des Apparates, des Tasters. Der Taster, wie Fig. 27 zeigt, ist ein Hebel mit Handgriff, der sich um *O* dreht. Er besitzt an seinem vorderen und hinteren Ende zwei vorspringende Theile, welche den Metallstiften 1 und 2, dem

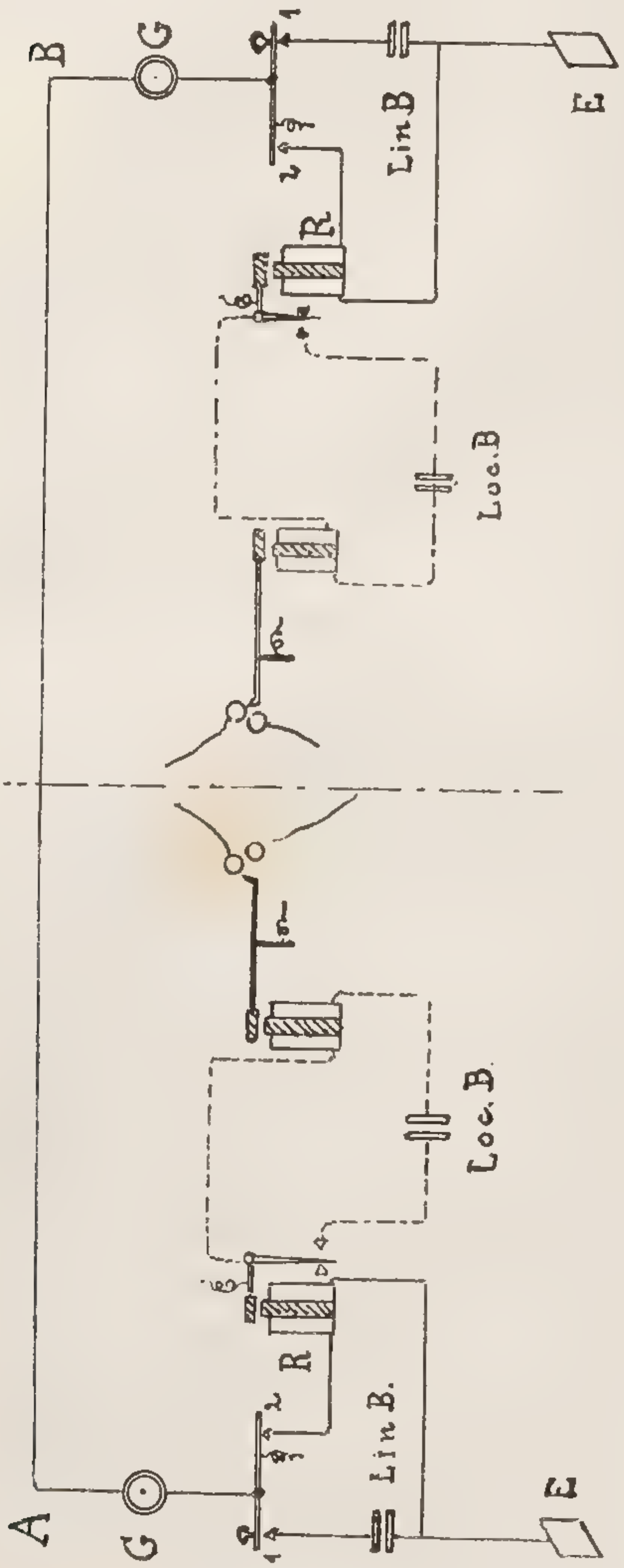



Fig. 28.

sogenannten Arbeits- und Ruhecontact, gegenüberstehen. Die Feder *F* bewirkt, dass sich für gewöhnlich der Contact 2 von selbst herstellt. Bei dem Niederdrücken des Tasters aber wird dieser Contact gelöst und jener bei 1 geschlossen.

Den dritten Theil, das Relais, haben wir vorher schon betrachtet. Fig. 28 stellt zwei mit einander in Verbindung stehende vollständige Telegraphenstationen dar. Der von der Station *B* in der Station *A* einmündende Leitungsdraht führt zunächst zu einem Galvanometer *G*, durch welches festgestellt werden kann, ob der Strom die zum Telegraphiren nöthige Stärke besitzt. Ausserdem erfährt der Telegraphist durch dasselbe sofort, ob etwa die Telegraphenleitung an irgend einer Stelle, sei es durch Muthwillen oder aus irgend einem anderen Grunde, eine Unterbrechung erlitten hat. Ferner ist das Galvanometer mit der Drehungsachse des Tasters, der Ruhecontact 2 mit dem Elektromagneten des Relais *R* und das Relais mit einer Leitung verbunden, welche zur Erdplatte *E* führt. Der Arbeitscontact 1 dagegen steht mit der Linienbatterie und der Erdplatte in Verbindung. Einen Stromkreis für sich bildet ferner die unterbrochen gezeichnete Verbindung von Relaishebel, Elektromagnet des Schreibapparates, Localbatterie, Relaiscontact.

Man übersieht nun leicht, dass, so lange der Taster in keiner der beiden Stationen niedergedrückt wird, auch kein Strom circuliren kann. Denn die beiden Linienbatterien sind in offene Drahtenden eingeschaltet, und die Localbatterien befinden sich in einem offenen Stromkreise. Wird aber der Taster z. B. in der Station *A* niedergedrückt und dadurch der Contact 2 aufgehoben, der Contact 1 dagegen dadurch hergestellt, so kommt die Linienbatterie der Station *A* zur Wirksamkeit. Sie sendet ihren Strom über den Taster und das Galvanometer nach der Station *B*, derselbe durchläuft dort das Galvanometer, den Taster, geht durch die Relaisrolle zur Erdplatte, durch die Erde zur Erdplatte der Station *A* und zur Linienbatterie zurück. Hierdurch wird der Elektromagnet des Relais in *B* elektromagnetisch. Der Relaishebel in *B* wird angezogen und der Localstrom in *B* geschlossen, und damit auch der Schreibapparat in *B* in Bewegung gesetzt. Drückt man den Taster in *A* längere Zeit nieder, so muss in *B* ein Strich, bei kürzerer Zeit ein Punkt entstehen.

Die Beförderung einer Depesche geht in folgender Weise vor sich: Zunächst wird die Station, an welche die Depesche gerichtet ist, angerufen. Jede Station besitzt zu diesem Zwecke ein besonderes Anrufzeichen. Hannover z. B. wird durch den Buchstaben H angerufen. Es sind dies vier auf einander folgende Punkte. Der Anruf wiederholt sich so lange, bis die angerufene Station antwortet „hier Hannover“. Der Telegraphist setzt hierauf seinen Papierstreifen in Gang, nimmt die Depesche in Empfang und quittirt am Schlusse derselben. Geübte Telegraphisten bedürfen dabei den Papierstreifen nicht. Sie hören die Depesche unmittelbar aus dem Tacte, in welchem der Apparat arbeitet, und der Papierstreifen dient nur zur Controle. In Amerika lässt man daher meist den Papierstreifen ganz fort und begnügt sich mit dem Empfang der Depesche durch das Gehör.

Bei der betrachteten Verbindung zweier Stationen ist es von Wichtigkeit, dass beim Telegraphiren in der Empfangsstation zunächst nur das Relais in Bewegung gesetzt wird und dieses dann durch Schliessen und Oeffnen des Localstromes den Schreibapparat in Thätigkeit setzt. Es ist dadurch möglich, mit äusserst schwachen Strömen zu telegraphiren und die Telegraphenleitung bedarf nicht denjenigen Grad der Isolation, den starke Ströme fordern.

Man kann behaupten, dass wenigstens bei oberirdischen Leitungen die Isolation den Hauptmangel unserer heutigen Telegraphie bildet. Wenn auch der Stromverlust bei einer einzelnen Isolirglocke verschwindend ist, so muss man doch bedenken, dass der Verlust mit der Anzahl der Glocken entsprechend wächst. Der Staub und Kohlenruss, welche sich mit der Zeit an den Isolirglocken ansetzen, bahnen der Elektricität den Weg zur Erde, dazu kommen noch die Hauptfeinde der Isolation — die Spinnen —, welche zwischen den Telegraphenstangen und den Leitungen Fäden ziehen. Bei feuchtem Wetter überziehen sich dieselben mit Thau und bilden dann gute Ableiter zur Erde. Hierdurch findet die Thatsache ihre Erklärung, dass bei Telegraphenlinien von 60 Meilen Länge oft $^3/_4$ bis $^4/_5$ des ursprünglichen Stromes verloren geht und nur $^1/_4$, resp. $^1/_5$ die Endstation erreicht. Besser stellen sich in dieser Beziehung die unterirdischen Leitungen, aber sie besitzen wieder andere Uebelstände

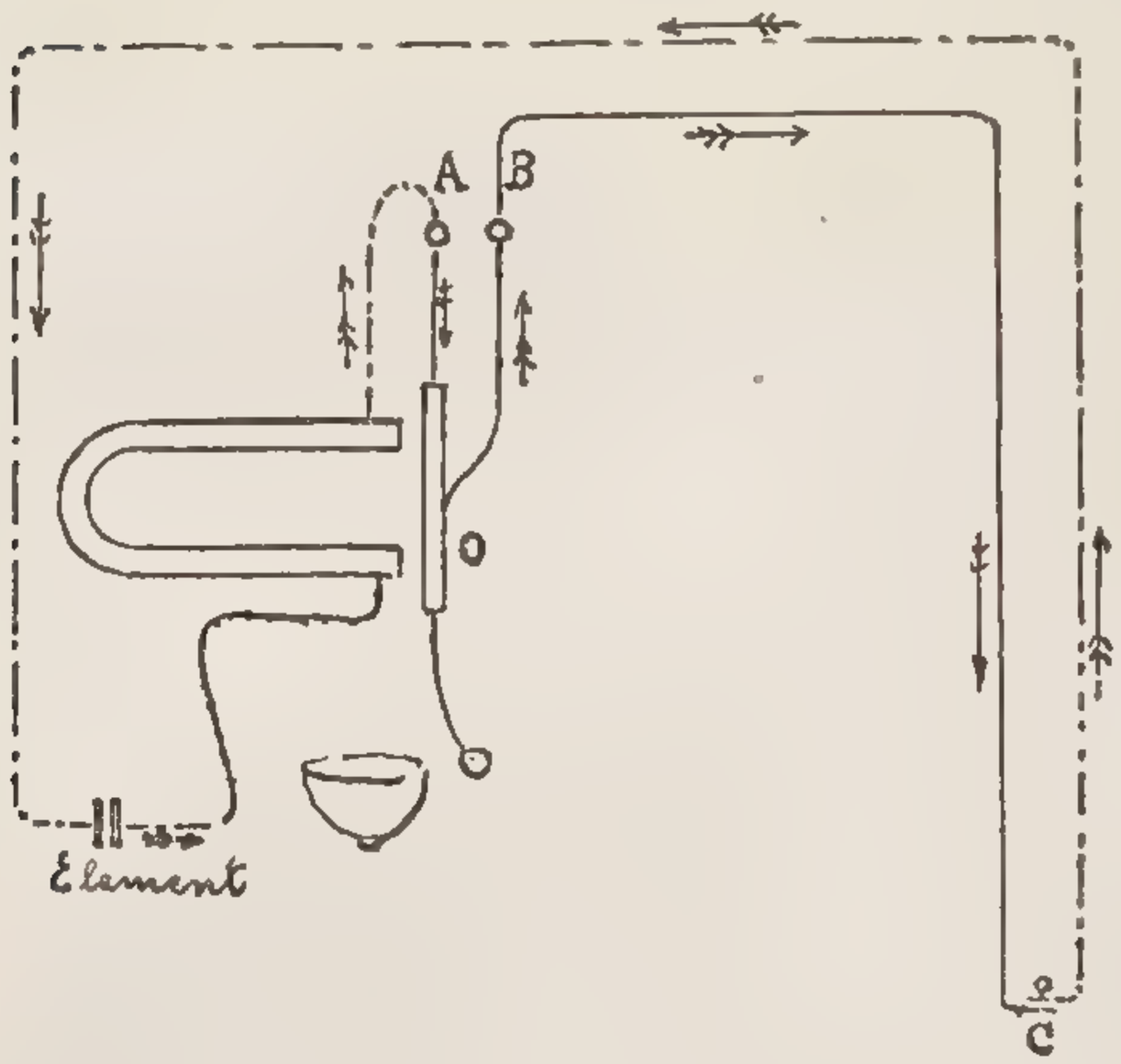
und sind ausserdem sehr kostbar. Dessen ungeachtet macht die unterirdische Telegraphie immer grössere Fortschritte. Es ist wahrhaft bewunderungswürdig, zu welcher Exactheit und Eleganz es die heutige Kabelfabrikation gebracht hat. Es liegt hier ein Stück des Kabels der Linie Berlin-Stettin, der Linie Berlin-Braunschweig-Köln. Ferner eine Reihe Kabelstücken der submarinen Leitung Paris-New York, ein Geschenk des Herrn Hofmechanikus Bornhard. Die submarinen Kabel zeigen gegen die unterirdischen keinen wesentlichen Unterschied. Derjenige Theil des Kabels, welcher dem starken Wellenschlage des Strandes ausgesetzt ist, das sogenannte Strandkabel, ist dicker und massiver gearbeitet, um der Zerstörung einen grösseren Widerstand entgegensetzen zu können. Je weiter das Kabel vom Strande zu liegen kommt, desto kleineren Querschnitt giebt man ihm, so dass das eigentliche „Tiefseekabel“ keinen grösseren Querschnitt als die unterirdischen Kabel besitzt.

Wir haben in dem Telegraphen von Morse den wichtigsten und zugleich den weit verbreitetsten Telegraphenapparat besprochen, aber mit ihm schliesst die Entwickelung der Telegraphensysteme keineswegs ab. Leider muss ich mir versagen, auf die chemischen Telegraphen von Bakewell, Caselli, ferner auf die Typendrucktelegraphen, vor Allem denjenigen von Hughes, näher einzugehen, welche letztere gestatten, die Depeschen in gewöhnlicher gedruckter Schrift zu übermitteln, und die augenblicklich meist bei dem internationalen Verkehr zur Anwendung kommen. Bei ihren grossen Vorzügen, welche sie gegenüber dem Morse'schen Apparate besitzen, haben sie den grossen Nachtheil, äusserst complicirt zu sein, ein Uebelstand, der es sehr fraglich erscheinen lässt, ob es ihnen jemals gelingen wird, den Morse ganz zu verdrängen. Dass auch in unseren Tagen die Telegraphie in einer intensiven Fortentwickelung begriffen ist, das führten recht deutlich die letzten internationalen elektrischen Weltausstellungen in Paris, München und Wien vor Augen, wo eine grosse Zahl neuer Systeme ausgestellt waren, deren Verständniss ein eingehendes Studium erforderlich macht.

Von der Telegraphie im Grossen wenden wir uns jetzt auf einige Augenblicke der Telegraphie im Kleinen zu, die man mit dem Namen „Haustelegraphie“ belegt hat. Die Haustelegraphie

hat zur Aufgabe, Alarmglocken, Klingeln in Thätigkeit zu bringen, und damit die früher allgemein üblichen Klingelzüge zu ersetzen. Solche elektrische Klingeln können nach sehr verschiedenen Principien gebaut sein, doch ist heute nur eine Art in allgemeinem Gebrauch, welche sich durch Einfachheit und Zuverlässigkeit vortheilhaft auszeichnet. Die Construction dieser Klingel beruht auf einem in der Telegraphie sehr wichtigen Principe, dem Principe der Selbstunterbrechung, dessen Wesen sich aus der Beschreibung der Klingel leicht erkennen lässt. Fig. 29 stellt eine solche Klingel dar.

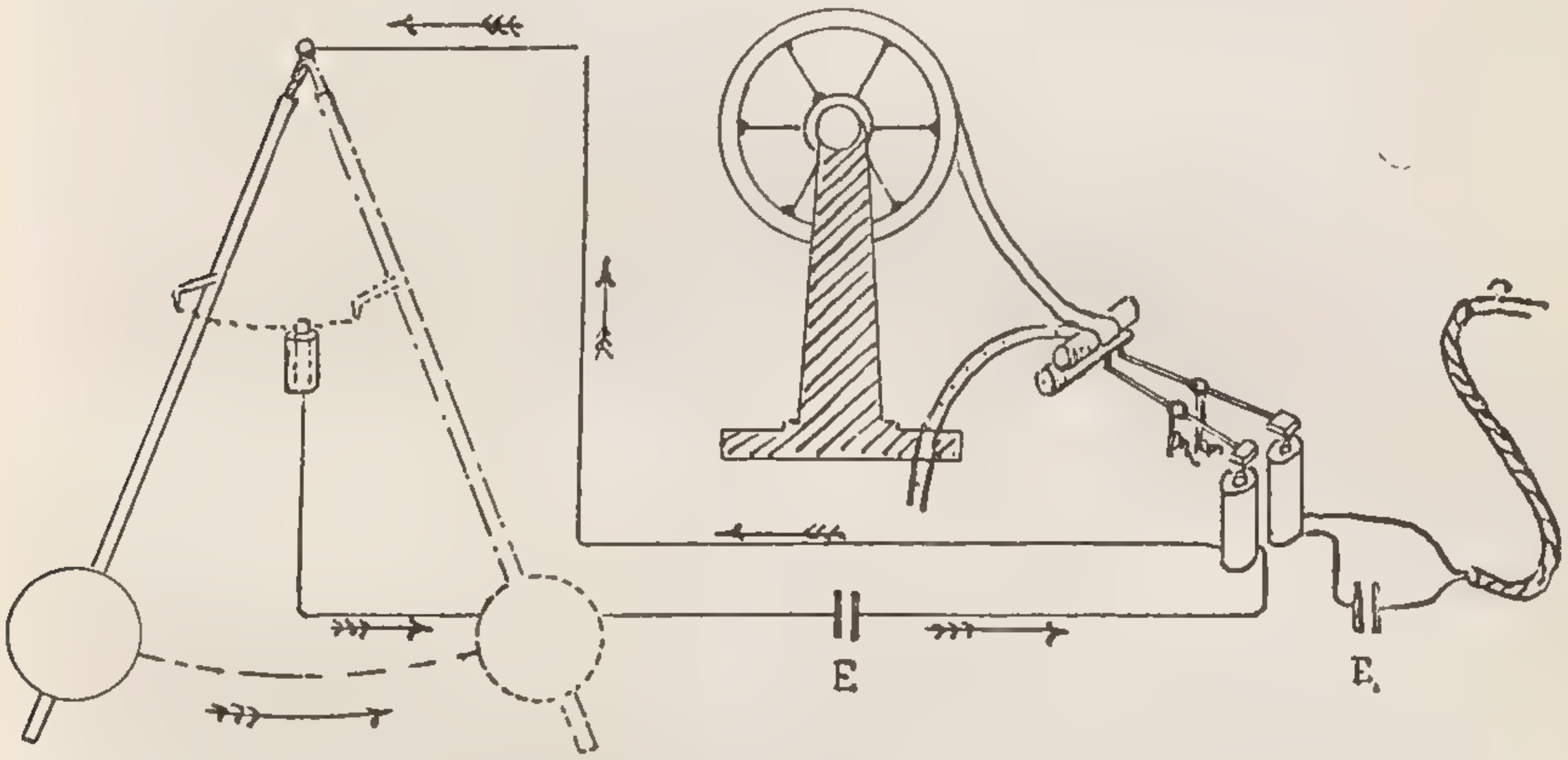
Fig. 29.




Vor dem Hufeisenelektromagnet ist im Punkte *A* an einer Feder eine Eisenplatte aufgehangen, deren unteres Ende mit einem Klöppel versehen ist. Die Eisenplatte wird in der Mitte *O* durch eine zweite, in *B* befestigte Feder gerade berührt, endlich sind die verschiedenen Theile, so wie es die Zeichnung andeutet, unter einander und mit einem Element verbunden. Wird bei *C* durch einen sogenannten Druckknopf die Leitung geschlossen, so kommt das Element in Thätigkeit. Der Strom geht von ihm aus durch den Elektromagnet über *A* zur Eisenplatte, durch den Berührungspunkt *O*, über *B* und *C* nach dem Element zurück. Der Elektromagnet zieht die Eisenplatte an und hebt damit die Berührung bei *O* auf. Damit ist aber auch der Strom unterbrochen. Die Eisenplatte wird nicht mehr von dem Elektromagneten festgehalten, sie kehrt in ihre frühere Lage zurück; der Contact bei *O* stellt sich von Neuem her und dadurch wird der Strom wieder geschlossen. Die Eisenplatte wird von Neuem angezogen u. s. f. Der Strom unterbricht und schliesst

sich also selbst. In Folge des fortdauernden Hin- und Herganges der Eisenplatte wird auch der mit ihr verbundene Klöppel dauernd an die Glocke schlagen. Das, was Sie bemerken, sobald der Druckknopf niedergedrückt wird. Es ist leicht, ein und dieselbe Klingel durch Drähte mit verschiedenen Zimmern so zu verbinden, dass von jedem derselben die Klingel in Bewegung gesetzt werden kann. Nur tritt hierbei die Schwierigkeit ein, dass der dienstthuende Geist nicht erkennen kann, von welchem Zimmer aus geschellt wurde. Diesem Uebelstande begegnet man bekanntlich durch Einfügung eines Tableaus, d. h. einer Vorrichtung, durch welche durch das Herabfallen einer Nummer die

Fig. 30.




Nummer des Zimmers angezeigt wird, von welchem aus das Zeichen gegeben wurde. Der Vorgang ist dabei ähnlich wie bei der elektrischen Klingel. Ein Hufeisenmagnet zieht eine Eisenplatte an und löst damit den Hebel, welcher die Nummer trägt, aus. Drücken wir an Nr. 1, so fällt Nr. 1, bei 2 Nr. 2, bei 3 Nr. 3.

Eine weit wichtigere Anwendung hat die Telegraphie bei Zeitbestimmungen gefunden. Ein geübter Beobachter schätzt während dem Secundenschlage einer Pendeluhr noch ziemlich genau $^1/_{10}$ Secunden. Um theils genauere Beobachtungen zu erhalten, theils die Aufzeichnung derselben zu erleichtern, bedient man sich bei physikalischen und astronomischen Beobachtungen der Chronographen oder Registrirapparate. Ein solcher Apparat ist der hier

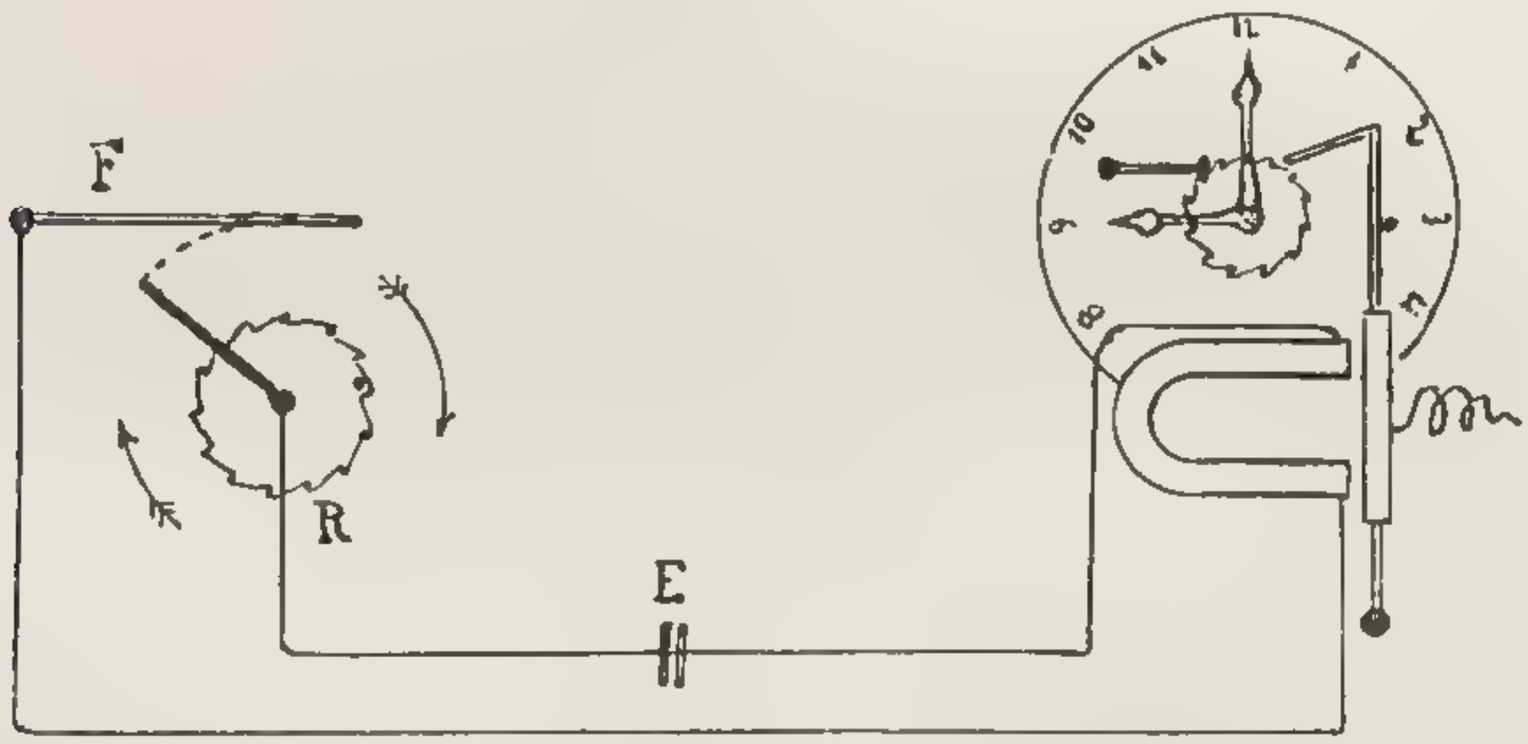
vorstehende. Seine Einrichtung kommt im Wesentlichen auf den Morse'schen Telegraph zurück, wie Fig. 30 (a. v. S.) zeigt.

Wenn ein Telegraphist mit seinem Taster genau aller Secunden auf kurze Zeit den Strom schliesst, so entstehen dadurch auf dem Papierstreifen des Schreibapparates in der fernen Station eine Reihe von gleich weit abstehenden Punkten. Statt durch die Hand des Telegraphisten lässt man nun den Stromschluss durch das Secundenpendel einer Normaluhr aller Secunden bewerkstelligen, indem man das Pendel bei jedem Pendelschwunge durch ein kleines Quecksilbergefäss hindurchstreichen lässt. Setzen wir z. B. den vorstehenden Apparat mit der astronomischen Uhr des physikalischen Laboratoriums in Verbindung, so hören Sie die Secundenschläge der Uhr, und wir erhalten auf dem Papier Secundenpunkte. Neben dem ersten Morse ist nun ein zweiter Morse so aufgestellt, dass sein Schreibhebel Punkte auf demselben Papierstreifen hervorruft. Wird nun der zweite Morse in einem bestimmten Augenblicke durch Niederdrücken eines Druckknopfes in Thätigkeit gesetzt, so entsteht zwischen den Secundenpunkten ein neuer Punkt, aus dessen Lage zwischen den angrenzenden Secundenpunkten sich offenbar der Zeitmoment auf das Genaueste ergiebt, zu welchem der Stromschluss erfolgte. Ob sich nun, wie in unserem Falle, die Pendeluhr in kleinerer oder in grösserer Entfernung von dem Registrirapparate befindet, ist bei der fast momentanen Fortpflanzung des Stromes gleichgültig. Man hat in neuerer Zeit die Sternwarten telegraphisch unter einander derart verbunden, dass man z. B. in Göttingen die Uhr der Sternwarte in Königsberg schlagen hört und in Göttingen nach Königsberger Zeit Beobachtungen anstellen kann. Solche Beobachtungen haben namentlich für Längenbestimmungen die grösste Wichtigkeit.

Nicht bloss zur eigentlichen Zeitmessung, sondern auch zum Betriebe von Uhren hat man bekanntlich den elektrischen Strom verwendet. Eine der einfachsten dieser Uhren steht hier vor Ihnen, in Fig. 31 ist dieselbe dargestellt. Die Uhr hat die grösste Aehnlichkeit mit einem Zeigertelegraph. Ein Hufeisenelektromagnet zieht eine Eisenplatte an und bewirkt dadurch schrittweise die Bewegung eines Zahnrades, dessen Achse einen Zeiger trägt. Man verbindet nun das eine Ende des Elektro-

magneten mit dem Elemente $E$ und dieses mit dem Secundenrade $R$ einer Normaluhr, d. h. mit demjenigen Rade, welches sich innerhalb einer Minute gerade einmal herumdreht. An diesem Rade ist ein hervorstehender Metallstift befestigt, welcher bei jedem Umlaufe gegen die Feder $F$ stösst und dadurch Contact herstellt. Wird nun andererseits die Feder mit dem zweiten Ende des Elektromagneten verbunden, so sieht man, dass in jeder Minute der Strom geschlossen und folglich in jeder Minute der Anker angezogen und damit auch in jeder Minute der Zeiger um einen Schritt fortrücken wird. Wir haben auf diese Weise einen Minutenzeiger construirt, der aller Minuten springt. Mit dem Minutenzeiger lässt sich nun leicht durch den Eingriff mehrerer Zahnräder ein Stundenzeiger verbinden, so dass die Uhr die Zeit

Fig. 31.

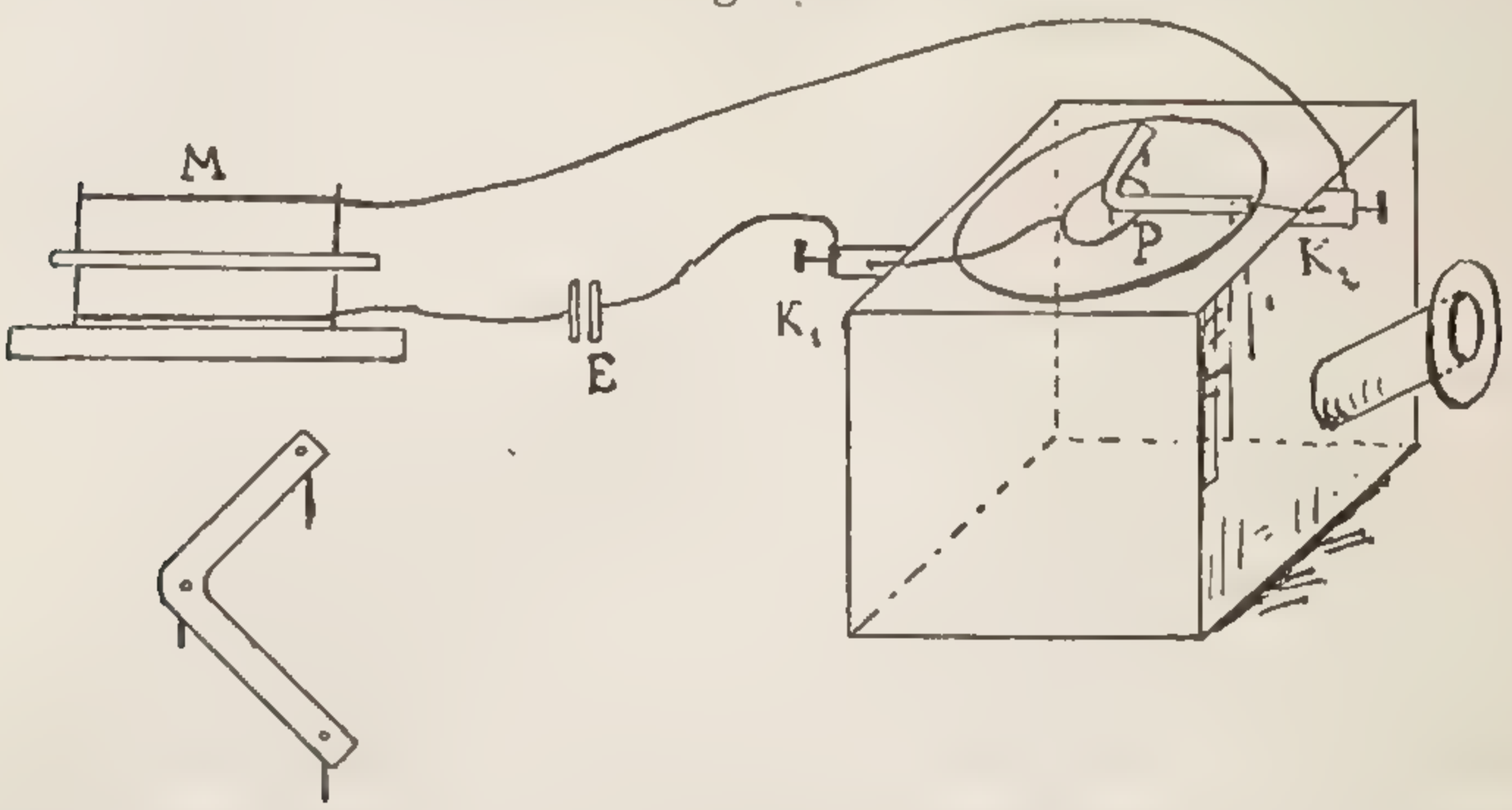



vollständig angiebt. Man hat den Vorschlag gemacht, der auch wiederholt zur Ausführung gekommen ist, innerhalb einer Stadt ein ganzes System solcher Uhren aufzustellen und dieselben von einer Normaluhr aus zu treiben. Sämmtliche Uhren geben dann dieselbe Zeit wie die Normaluhr an. Die Erfahrung stellte jedoch heraus, dass alsdann durch Unregelmässigkeit einer einzigen Uhr das ganze System in Unordnung kam, so dass man heute von einem anderen Principe Anwendung macht. Man bedient sich sogenannter „sympathischer Uhren“. Es sind dies gewöhnliche Pendeluhren mit selbständigem Gange, deren Pendel aber auf galvanischem Wege immer in demselben Schwingungstacte erhalten werden, wodurch dann ein völlig gleicher Gang erzielt wird.

Wir wenden uns zum Schlusse unserer heutigen Betrachtung noch zu einer eigenthümlichen Art der Telegraphie, welche ge-

rade in der heutigen Zeit eine ganz ausserordentliche Ausbreitung erfahren hat, zu der Telephonie. Unter einem Telephon versteht man eine Vorrichtung, durch welche Töne, Geräusche, Laute von einer Station zur anderen übertragen werden können. Die menschliche Sprache ist ein Gemisch von Tönen mit eigenthümlichen Geräuschen. Die Vocale entsprechen Tönen, die Consonanten Geräuschen. Verfügt man also über ein Telephon, so muss sich durch dasselbe das gesprochene Wort fortpflanzen lassen. Unstreitig gebührt Philipp Reis das Verdienst, die Idee, Töne auf galvanischem Wege fortzupflanzen, zuerst ausgesprochen und die ersten dahin einschlagenden Versuche ausgeführt zu haben, wenn auch dieselben zu keinem glänzenden

Fig. 32.




Erfolge geführt haben. Sein Apparat, wie das hier vorstehende Exemplar und wie Fig. 32 zeigt, besteht aus einem hohlen Kasten, durch dessen Seitenwand ein Sprachrohr führt. Ueber eine kreisförmige Oeffnung im Deckel ist eine dünne Membran gespannt, auf deren Mitte ein kleines Platinplättchen $P$ fest aufgekittet ist. Dasselbe steht durch einen Draht mit der Klemme $K_1$ in Verbindung. Auf das Platinplättchen drückt ferner ein rechtwinkelig gebogener Haken aus Blech, welcher mit drei Füssen versehen und in Fig. 32 besonders abgezeichnet ist, mit seinem mittleren Stifte lose auf, während die beiden anderen am Rande der Membran unterstützt sind und einer von ihnen mit der Klemme $K_2$ verbunden ist. Verbindet man die Klemme $K_1$ mit dem Elemente $E$, das Element mit einem in ferner Station auf-

gestellten kleinen Elektromagnet *M* und den Elektromagnet mit der Klemme $K_2$, so hat man einen geschlossenen Stromkreis hergestellt. Der Strom geht von dem Elemente *E* zunächst über die Klemme $K_1$ nach dem Platinplättchen, von hier durch den aufliegenden Stift, durch den Haken, nach der Klemme $K_2$ und alsdann durch den Elektromagnet nach dem Elemente zurück. Wir wollen annehmen, es werde in das Sprachrohr der Kammerton *a* gesungen. Physikalisch heisst dies, es werden in der Secunde 440 Luftschwingungen hervorgerufen. Diese Luftschwingungen pflanzen sich in dem hohlen Kasten fort und setzen die dünne Membrane gleichfalls in der Secunde in 440 Schwingungen. Hierdurch wird der lose aufliegende Stift gleichfalls 440 mal pro Secunde in die Höhe geschleudert, und folglich 440 mal in der Secunde der Strom unterbrochen und geschlossen. Da die galvanischen Ströme den Elektromageten durchlaufen, so wird der in der Rolle befindliche Eisenstift 440 mal in der Secunde in magnetischen und unmagnetischen Zustand versetzt. Durch das rasch auf einander folgende Magnetisiren und Entmagnetisiren geräth der Eisenstift in longitudinale Schwingungen; er schwingt 440 mal in der Secunde hin und her und reproducirt so den in den Kasten gesungenen Ton. Der Mangel der ganzen Vorrichtung besteht hauptsächlich in demjenigen Theile des Apparates, welcher den Ton reproducirt, dem Elektromagneten. Einmal ist der Ton äusserst schwach, sodann ist er noch mit Nebengeräuschen verknüpft. Ich will versuchen, Ihnen die Wirkung des Instrumentes vorzuführen. Herr Mechaniker Müller wird in der Entfernung von etwa 100 m in das Instrument die Tonleiter singen. Doch muss absolute Stille herrschen, wenn die Töne gehört werden sollen.

Als Reis seinen Apparat der Naturforschergesellschaft zu Giessen zuerst vorführte, ging die allgemeine Meinung dahin, dass auf diesem Principe ein telegraphischer Verkehr nicht möglich sein werde, so lange nicht für die Reproduction der Töne ein ganz neues Princip gefunden würde. In der That führten die Veränderungen, welche der Apparat in späterer Zeit erfuhr, zu keinem merklich besseren Resultat. Erst als es im Jahre 1876 dem Amerikaner Graham Bell gelang, ein ganz neues Princip zu entdecken, entwickelte sich die Telephonie bis zu ihrer jetzigen Höhe.

Das Bell'sche Telephon ist Fig. 33 dargestellt. Der Aufnahme- und Abgabeapparat ist genau derselbe. Auf der Rückseite eines Mundstückes ist eine dünne kreisrunde Scheibe aus Eisenblech ausgespannt, welche die Stelle der Membran von Reis vertritt. Unmittelbar hinter dem Eisenblech ist ein Magnet befestigt, gewöhnlich mit seinem Nordpol dem Eisenblech zugewandt, über dessen Pol eine kleine Rolle mit dünnem Draht übergeschoben ist. Die Drahtenden dieser Rolle stehen durch Leitungsdrähte mit den Enden der entsprechenden Rolle im zweiten Apparat in Verbindung. Wir wollen nun annehmen, es werde vor dem Mundstück in *A* irgend ein Ton gesungen. Die Schallwellen setzen alsdann das dünne Eisenblech in Schwingungen. Jedesmal, wenn sich dabei das Eisenblech dem Magnetpol nähert, wird der Magnetismus im Magneten verstärkt, jedesmal, wenn sich das Eisenblech von dem Pole entfernt,

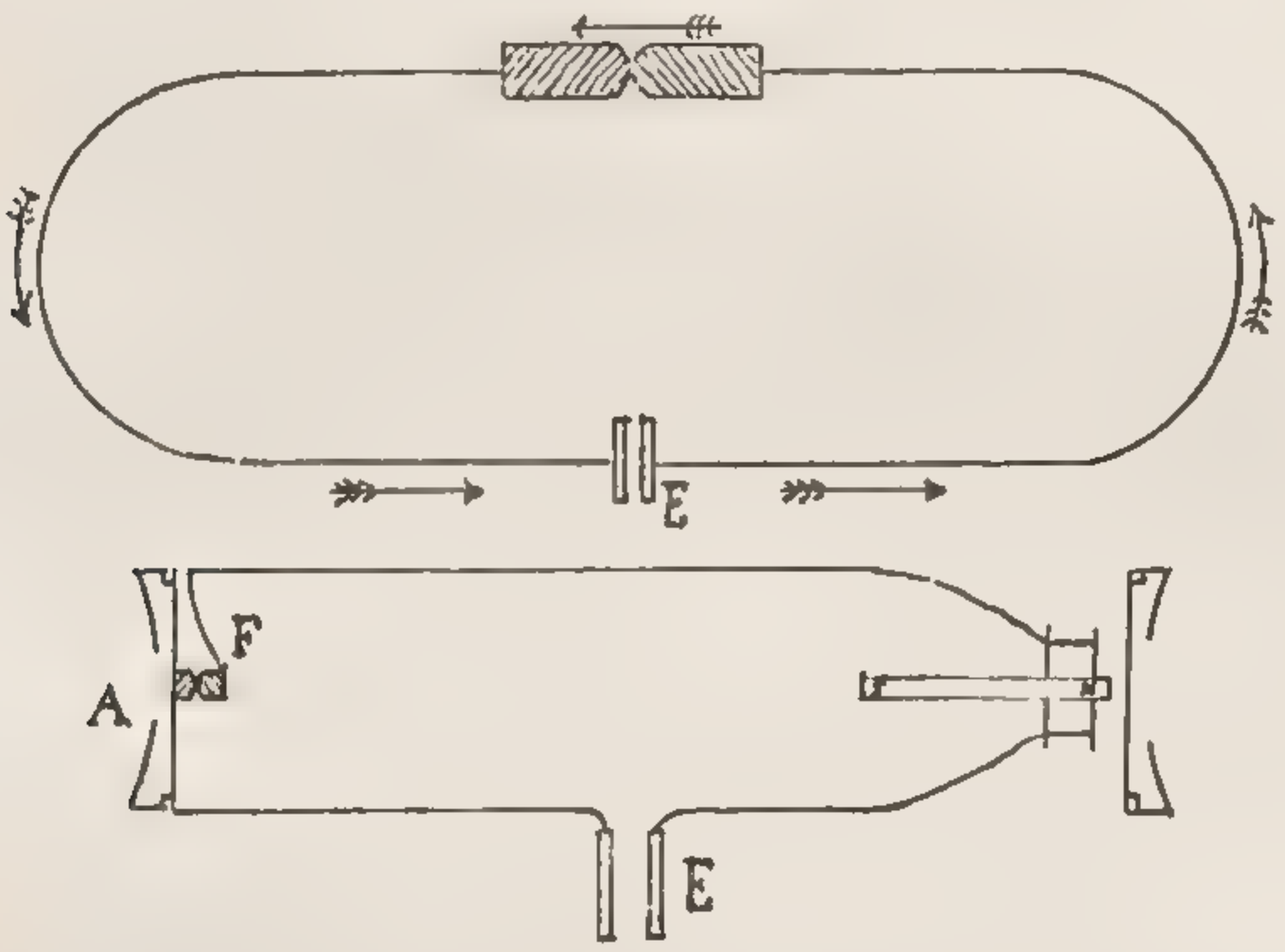
Fig. 33.

wird der Magnetismus abgeschwächt. Die Verstärkung und die Abschwächung des Magnetismus erzeugt zwei entgegengesetzte Ströme, welche, indem sie die Rolle des zweiten Apparates durchlaufen, den Magnetismus in *B* abwechselnd verstärken und abschwächen. In Folge hiervon wird das Eisenblech in *B* verschieden stark angezogen und schwingt genau in demselben Tacte hin und her, wie die in *A* befindliche Eisenplatte. Die Schwingungen der Eisenplatte theilen sich der Luft in *B* mit und folglich hört ein dort an das Mundstück gebrachtes Ohr denselben Ton, welcher in *A* erzeugt wurde.

Dieses überaus einfache und sinnreiche Instrument giebt, was von vornherein nicht erwartet werden konnte, nicht bloss Töne, sondern auch Geräusche wieder, so dass die Sprache am Ende der Linie deutlich wiedergegeben wird. Hier sind zwei Bell'sche Telephone aufgestellt.

Die Wiedergabe der Sprache bei dem Bell'schen Telephon ist eine sehr leise. Wenn man bedenkt, dass die ganze Wirkung des Instrumentes sich lediglich auf schwache Inductionsströme gründet, so würde man, wenn nicht die Thatsache das Gegentheil bewiese, es überhaupt nicht für möglich halten, dass irgend eine Wiedergabe stattfindet. Die Frage, ob man nicht durch Anwendung stärkerer Ströme auf irgend eine Art eine Verstärkung der Wirkung hervorrufen könne, führte Edison zu einem neuen Principe, Schallwellen durch elektrische Ströme fortzupflanzen, nämlich zur Entdeckung des Mikrophons. Dem Mikrophon wurde später namentlich durch Hughes verschiedene

Fig. 34.




Formen gegeben; wir wollen dasselbe nur in der Form betrachten, wie es gewöhnlich bei Telephonen in Anwendung kommt.

Leitet man, wie Fig. 34 darstellt, durch zwei zugespitzte oder abgerundete Kohlenstückchen, welche sich in Berührung befinden, einen galvanischen Strom, so fand Edison, dass die Stärke des Stromes von dem Drucke in hervorragender Weise abhängig ist, unter welchem die beiden Kohlenstücken zur Berührung kommen. Werden die Kohlenstücken nur eine Spur stärker gegen einander gedrückt, so nimmt die Stärke des Stromes bedeutend zu, wird der Druck vermindert, so nimmt die Stromstärke ab. Der Grund dieser Erscheinung liegt in dem Umstande, dass mit dem Drucke der Querschnitt der Berührungsstelle sich verändert. Werden daher die Kohlenstücke eine Anzahl Male

abwechselnd stärker und schwächer an einander gedrückt, so werden in derselben Zeit dieselbe Anzahl von Stromschwankungen eintreten müssen.

Von dieser Erscheinung macht nun Blake zur Construction des Telephons folgenden Gebrauch. Wie bei dem Bell'schen Telephon, Fig 34, bringt er hinter dem Mundstück ein kreisförmiges dünnes Eisenblech an, in dessen Mitte aber jetzt ein kleines kugelig abgerundetes Kohlenstück befestigt ist. An dieses Kohlenstück wird mittelst einer Feder *F* ein ähnliches Kohlenstück angedrückt. Verbindet man alsdann das Eisenblech und die Feder *F* mit einem Bell'schen Telephon, indem man noch an irgend einer Stelle des Stromkreises ein Element *E* einschaltet, so hat man damit eine Thelephonverbindung hergestellt. Wird nämlich vor dem Mundstück in *A* ein Ton gesungen, so geräth die Eisenmembran daselbst in Schwingungen. Der Druck zwischen den Kohlenstückchen wird so oft in der Secunde verändert, als die Eisenmembran Schwingungen ausführt und eben so oft entstehen Schwankungen in der Stromstärke. Die Stromschwankungen bewirken im Bell'schen Telephon die gleiche Anzahl von Schwankungen des Magnetismus im Magneten und versetzen hierdurch wieder die dortige Eisenmembran in die gleiche Zahl von Schwingungen, wodurch derselbe Ton entsteht. Da hierbei der Strom nicht durch Induction, sondern durch das Element erzeugt wird, und die Stromschwankungen verhältnissmässig grosse sind, so sind auch die Schwingungen der Eisenmembran im Bell'sehen Telephon viel grösser, und damit wird der reproducirte Ton viel intensiver.

Fig. 35.

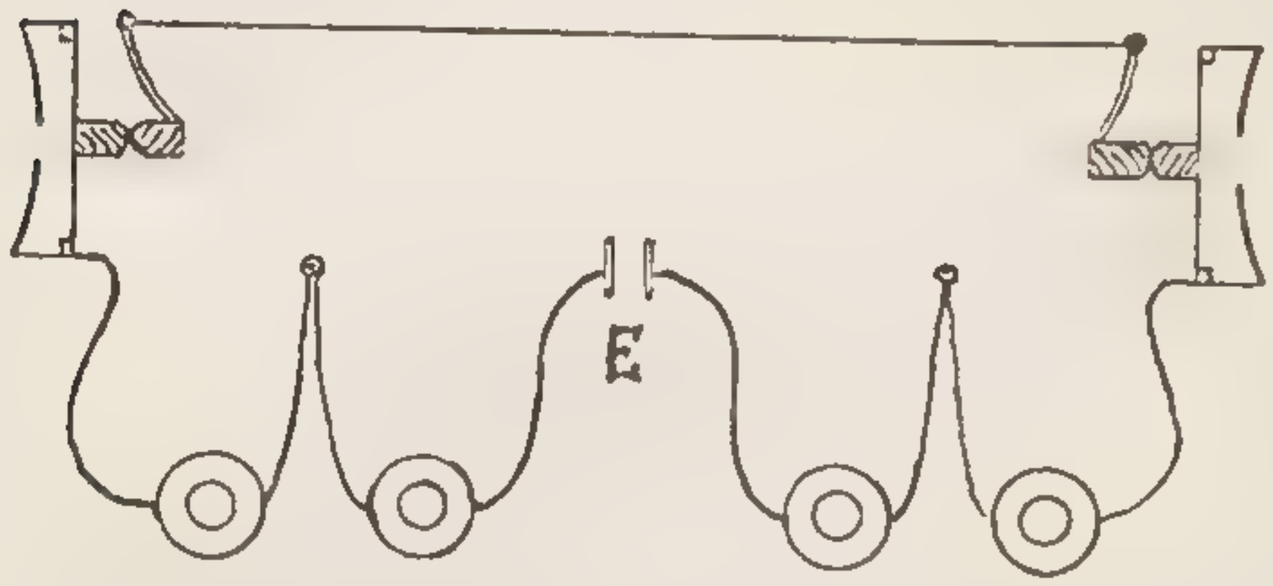



Fig. 35 stellt zwei vollständig mit einander verbundene Telephonstationen dar, bei welchen das Telephon von Blake mit dem Bell'schen Telephon combinirt ist. Jede Station enthält ein Telephon von Blake zur Uebertragung der gesprochenen Worte auf die nächste Station und zwei Bell'sche Telephone in

etwas abgeänderter Form, welche die auf der fernen Station gesprochenen Worte reproduciren. Durch die Einrichtung, dass man an beide Ohren ein Bell'sches Telephon anlegt, wird der Effect bedeutend erhöht.

Das hier vorstehende Telephon ist in der besprochenen Weise eingerichtet. Es ist mit ihm noch eine Anrufsvorrichtung verbunden. Durch einen trompetenartigen Ton macht der Absender den Empfänger auf die Uebersendung der Depesche aufmerksam. Der Empfänger giebt das Zeichen zurück und legt sodann die beiden Hörtelephone an das Ohr.

Ich habe dies Telephon mit einem andern verbunden in meiner Wohnung, welche der technischen Hochschule gegenüberliegt. Herr Rühle wird die Güte haben, daselbst auf einer Physharmonika den Pilgermarsch aus dem Tannhäuser zu spielen. Nach Schluss des Vortrages kann sich dann jeder, indem er die beiden Höhrtelephone an das Ohr anlegt, überzeugen, dass die ganze Melodie überraschend deutlich wiedergegeben wird.

Bekanntlich ist auch in unserer Stadt seit längerer Zeit die Telephonie eingeführt. Die über die Häuser geführten Drahtleitungen verbinden zunächst die einzelnen Telephonstationen mit einer Centralstation — dem Reichspostgebäude —, woselbst durch einen grossen Umschalter die verschiedenen Drahtleitungen unter einander leicht und sicher verbunden werden und damit jede Station mit jeder anderen in telephonischen Verkehr treten kann.

Die mir zum Vortrage von Ihnen gütigst gewährte Zeit ist leider verstrichen. Nur verhältnissmässig Weniges konnte ich aus dem ungeheuren Gebiete der Telegraphie Ihnen vorführen. Möchte schon dieses Wenige dazu beitragen, das Interesse an derjenigen praktischen Anwendung der Elektricitätslehre zu fördern, welche unter allen die wichtigste ist und auch die wichtigste bleiben wird.

# Dritter Vortrag.

## Elektromagnetische, magnetelektrische und Dynamomaschinen.

---

Unter den Fragen, welche auf volkswirthschaftlichem Gebiete eine Rolle spielen, giebt es auch eine, welche erst in neuerer Zeit aufgetaucht ist und, weil sie in die socialen Verhältnisse tief einschneidet, eine hervorragende Bedeutung gewonnen hat; es ist dies die Frage der Ueberproduction. Es mag eine der schwierigsten Aufgaben der Volkswirthschaftslehre sein, die Ueberproduction zu verhüten und die traurigen Folgen derselben von der Bevölkerung abzuwenden, weniger schwierig ist es, die Ursachen derselben ausfindig zu machen, so weit sie sich wenigstens auf unsere Manufacturindustrie bezieht. Waren in früheren Jahrhunderten, wo die Handarbeit und mit ihr die Zünfte und Gewerbe blühten, im grossen Ganzen Production und Consumtion im Gleichgewicht, so konnte dies nicht mehr fortbestehen, als zu Anfang unseres Jahrhunderts eine bis dahin nicht erkannte Naturkraft, „die Dampfkraft“, in den Dienst der Menschheit gestellt wurde. Unzählbar waren in Kurzem die Vorrichtungen, welche der menschliche Geist ersann, um sich die neu erkannte Naturkraft nutzbar zu machen. Diese Vorrichtungen nennen wir Maschinen. Die Zeiten, wo am Spinnrocken der Faden künstlich gedreht, wo derselbe sodann am Webstuhl mühsam zu Gewebe verarbeitet wurde, sind vorüber! Maschinen sind es, welche heute spinnen und weben, Maschinen nähen, Maschinen sticken und stricken, und kaum dürfte es irgend einen Zweig unserer heutigen mechanischen Industrie geben, in welchem nicht

Maschinen mit wunderbarer Genauigkeit und Geschwindigkeit die Handarbeit der früheren Zeit ersetzte.

Noch war es dem Handel, der die Aufgabe hat, durch Vertheilung der Erzeugnisse der Ueberproduction zu steuern, nicht gelungen, die durch die Dampfkraft auf dem industriellen und socialen Gebiete hervorgerufene Bewegung auf normale Verhältnisse zurückzuführen, als in der Mitte unseres Jahrhunderts der Dampfkraft in dem elektrischen Strome ein Rivale erstand, der anfänglich unscheinbar schien, dessen Kraft aber täglich erstarkte. Zwar war der elektrische Strom und seine Wirkungen schon längere Zeit bekannt, aber die Entdeckung, auf billigerem Wege die stärksten Ströme zu erzeugen, legte es nahe, auch diese Naturkraft den menschlichen Interessen in noch höherem Grade dienstbar zu machen, als dies bisher geschehen.

Wie nach Entdeckung der Dampfkraft eine Periode eintrat, wo im Maschinenfache zur Nutzbarmachung dieser Kraft eine Erfindung der anderen folgte, so befinden wir uns augenblicklich in derselben Entwickelungsperiode in Bezug auf die Elektricität. Wird aber der Rivale seinen Gegner einholen oder ihm gar den Rang ablaufen? So wenig bei Beginn eines Kampfes der Ausgang mit Sicherheit vorausgesagt werden kann, so wenig lässt sich diese Frage schon jetzt entscheiden. Wahrscheinlich aber ist es, dass künftig beide Naturkräfte neben einander zum Wohle der Menschheit arbeiten werden.

Wenn man sagt, die Maschinenarbeit sei es, welche unserem Jahrhundert das ihm eigenthümliche Gepräge gegeben hat, so sollte man dafür richtiger sagen, die geschickte und ingeniöse Ausnützung der Naturkräfte zeichnet unser Jahrhundert vor anderen aus. Denn keine Maschine erzeugt wirklich Arbeit. Die Maschinen sind künstliche Vorrichtungen, durch welche die an einer Stelle auf sie einwirkenden Triebkräfte auf eine andere Stelle übertragen werden. Dabei kann die von der Maschine aufgenommene Triebkraft oder Energie, wie man sie heute nennt, bei ihrer Abgabe durch die Maschine in eine andere Form verwandelt sein, das Quantum der Triebkraft ist dasselbe geblieben. Von einer Maschine Arbeit zu verlangen, ohne dass ihr Energie in irgend einer Form mitgetheilt wird, hiesse verlangen, dass eine Kornmühle Mehl liefere, ohne dass den Mühlsteinen Korn

zugeführt wird. Und wie es jeder für selbstverständlich ansieht, dass er dasselbe Quantum, welches er der Mühle als Korn zugeführt hat, in Form von Mehl wieder erhält, ebenso selbstverständlich ist es, dass die z. B. von einer Dampfmaschine in Form von Wärme aufgenommene Energie gerade so gross ist, wie die von ihr in Form von Reibung, von Heben, von Drehen, von Bohren u. s. f. abgegebene Energie.

Eine Maschine verhält sich wie ein Geldwechsler, der seinen eigenen Vortheil ausser Augen lässt. Wir zahlen ihm Gold ein, und erhalten dafür eine Summe in Silber oder Papier ausgezahlt, welche sich zwar von dem eingezahlten Golde wesentlich unterscheidet, dessen Werth aber derselbe ist.

Der angeführte Vergleich gilt streng genommen nur für eine vollkommene Maschine. Denn ebenso wenig, wie es Geldwechsler giebt; die Geld wechseln, ohne für ihre Bemühung einen gewissen Procentsatz zurück zu behalten, so giebt es auch keine Maschine, welche die auf sie einwirkende Triebkraft vollständig wieder abgiebt, ein gewisser Procentsatz bleibt immer in Form von Reibung und Stössen in der Maschine zurück oder verlässt dieselbe ungenützt. In Wirklichkeit ist zwar auch hierbei kein Verlust an Triebkraft eingetreten, aber doch ein Verlust in der nützlichen Wirkung der Maschine. Offenbar wird im praktischen Leben derjenige Wechsler den meisten Zuspruch haben, der die geringsten Procente zurückbehält, und ebenso werden diejenigen Maschinen am meisten zu Arbeitsmaschinen benutzt werden, welche den geringsten Verlust an Nutzeffect aufweisen.

Wir sind hier an einem der wichtigsten Gesichtspunkte angelangt, welcher bei dem Vergleich der Güte zweier Maschinen ins Auge zu fassen ist. Die Güte einer Maschine hängt ab von dem Verhältniss der Energie, welche die Maschine wirklich abliefert, zu der Energie, welche sie in Maximo abliefern könnte.

Eine gute Turbine liefert etwa 80 Proc., eine Dampfmaschine höchstens 50 Proc. der aufgenommenen Energie wieder ab; Versuche mit elektrischen Maschinen führten bis auf 60 Proc., und man kann darauf rechnen, dass unter Anwendung noch grösserer Rotationsgeschwindigkeiten, als sie bisher angewandt wurden, der Procentsatz sich auf 70 Proc. und vielleicht noch höher stellen wird.

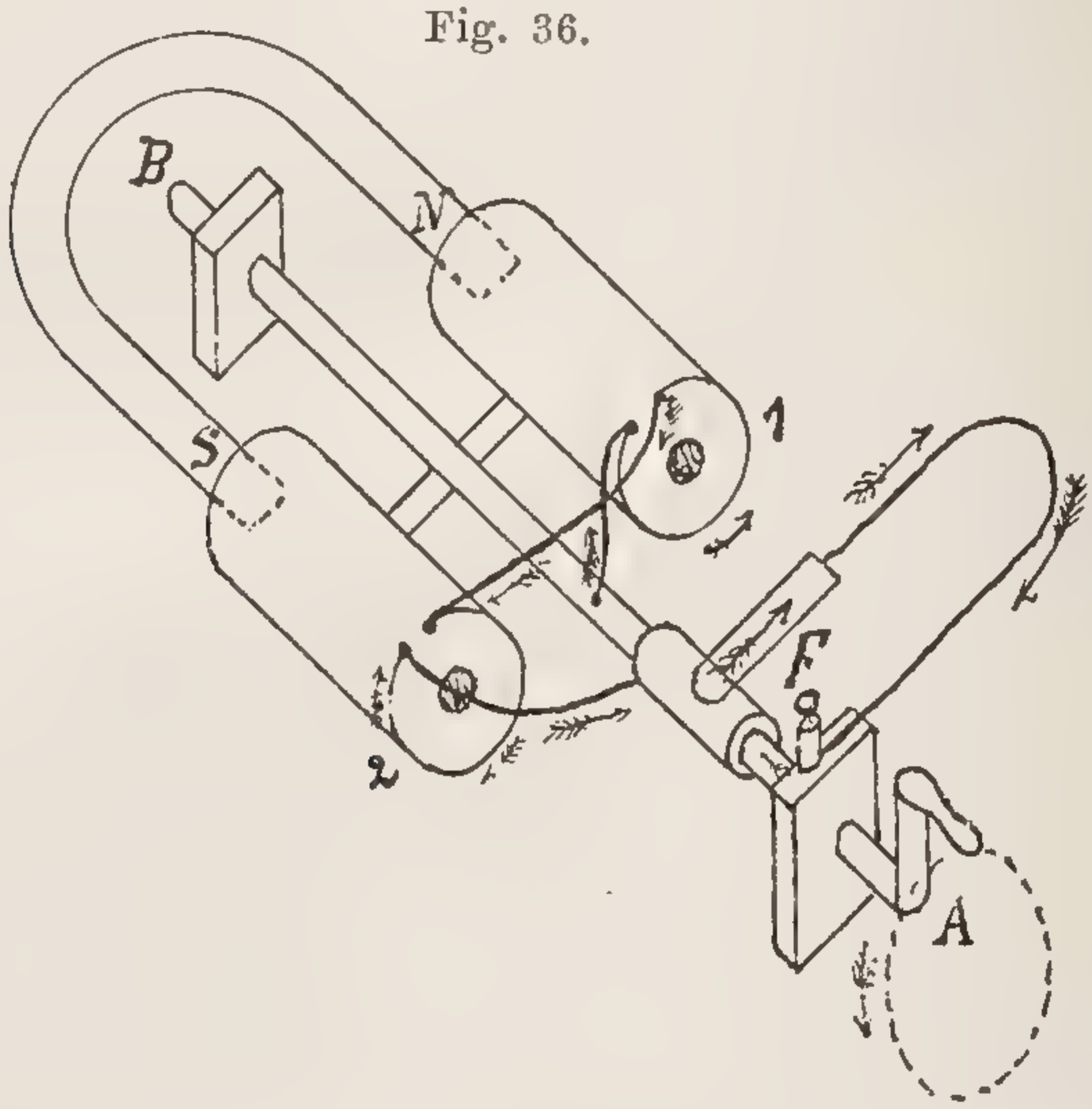
Von der Betrachtung der Maschinen im Allgemeinen wenden wir uns nun speciell zu den elektrischen Maschinen. Um eine Uebersicht über die mannigfaltigen Maschinen zu erhalten, zerlegen wir dieselben in zwei grosse Classen: 1. in solche, welche die Aufgabe haben, elektrische Ströme zu erzeugen. Wir nennen sie „Strommaschinen“. Bei ihnen muss man, um einen elektrischen Strom zu erzeugen, eine gewisse Arbeit aufwenden, die Arbeit, welche zur Drehung der Maschine nöthig ist. Es wird daher durch die Strommaschinen Arbeit in galvanischen Strom umgesetzt. Die zweite Classe umfasst dagegen diejenigen Maschinen, welche durch einen galvanischen Strom getrieben werden und dabei Arbeit verrichten, die z. B. in Hebung von Gewichten, in Drehen, in Bohren u. s. f. bestehen kann. Wir nennen sie Arbeitsmaschinen. Durch die Arbeitsmaschinen wird umgekehrt der galvanische Strom in Arbeit umgesetzt. Durch die Verbindung beider Arten von Maschinen ist endlich, wie leicht einzusehen, das Problem der Kraftübertragung durch galvanische Ströme im Princip gelöst. Wir brauchen offenbar nur eine Strommaschine aufzustellen und diese durch Drähte mit einer Arbeitsmaschine zu verbinden. Drehen wir alsdann die Strommaschine, sei es durch die Hand, oder durch eine Dampfmaschine, oder durch Wasserkraft, so erzeugen wir damit einen Strom, welcher durch die Verbindungsdrähte der Arbeitsmaschine zugeführt wird, diese in Bewegung setzt und damit Arbeit erzeugt.

Die Entdeckung der ersten Strommaschine schliesst sich unmittelbar an die Entdeckung der Magnetinduction durch Faraday an. In dem ersten Vortrage sahen wir, dass auf zwei Wegen galvanische Ströme durch Magnetinduction erhalten werden können. Einmal dadurch, dass man einen Magnet gegen eine in sich geschlossene Drahtrolle oder, was auf dasselbe hinaus kommt, eine Drahtrolle gegen einen Magnet bewegt, sodann dadurch, dass man in einem weichen Eisenstab, in dessen Nähe sich eine Drahtrolle befindet, Magnetismus entstehen oder verschwinden lässt. Beide Methoden benutzten die Entdecker der ersten Strommaschine zu ihrer Construction. Es waren deren zwei, welche unabhängig von einander im Jahre 1832 dieselbe Maschine erfanden, Dal Negro, Abt in Padua, und der Franzose Pixii. Die Maschine bestand aus zwei mit einander verbundenen

Rollen. Jede Rolle war über einen weichen Eisenkern gewickelt, und diesen weichen Eisenkernen gegenüber befanden sich die Pole eines starken Hufeisenmagneten. Wurde nun der letztere gedreht, so entstanden in den Rollen Ströme. Man hat diesen Apparat gewisser mechanischer Vortheile wegen später so abgeändert, dass man, umgekehrt wie früher, den Hufeisenmagnet fest aufstellte und vor seinen Polen die Rollen drehte. In dieser abgeänderten Form ist die Maschine in Fig. 36 dargestellt.

Mit der metallenen Achse $AB$ sind zwei Drahtrollen fest verbunden, von denen jede einen Eisenkern besitzt. Hinter den

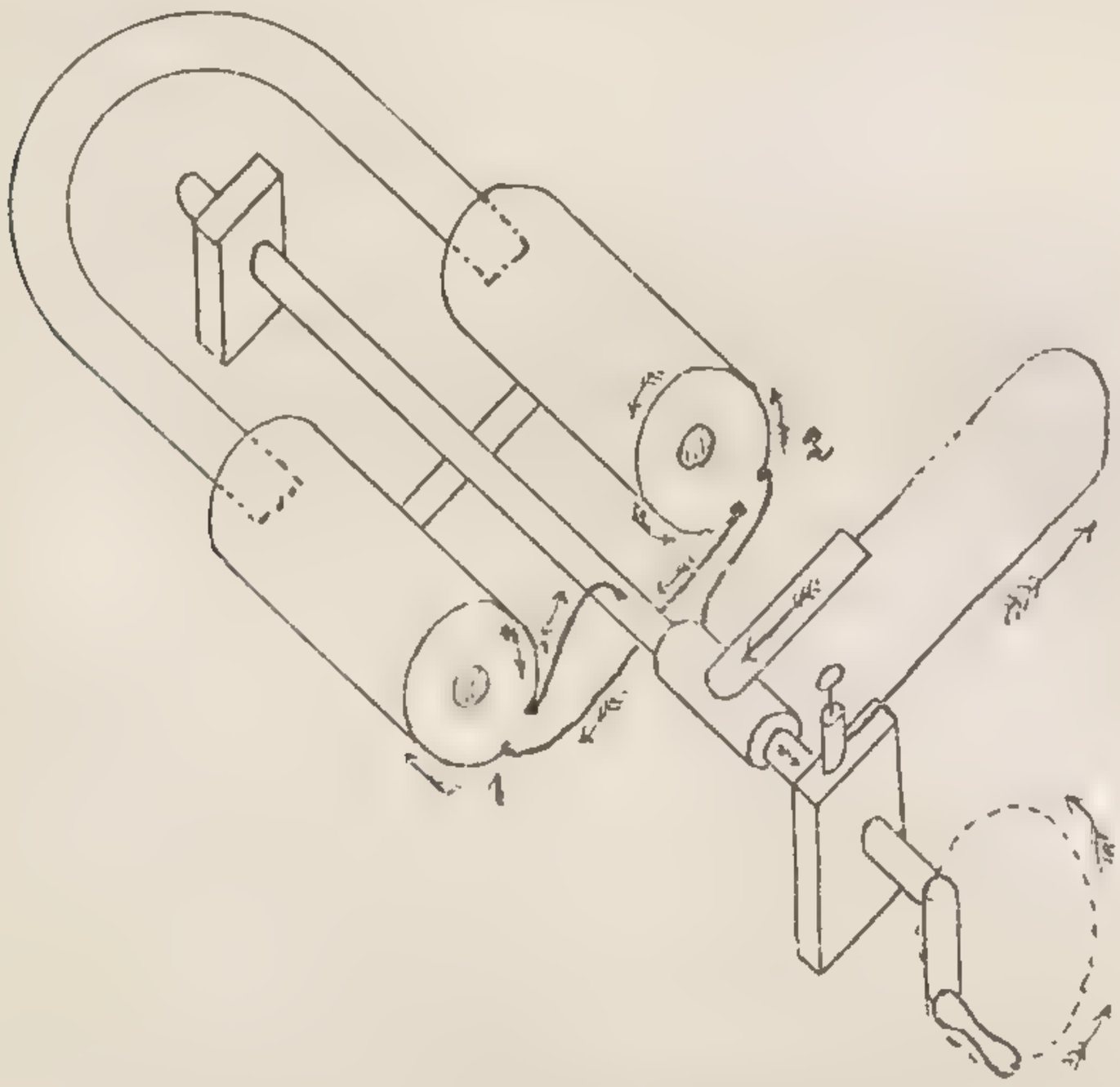
Fig. 36.




Drahtrollen ist der Hufeisenmagnet fest aufgestellt, und des leichteren Verständnisses wegen wurde von den Umwindungen der beiden Rollen nur je eine Umwindung gezeichnet, die eine ist mit 1, die andere mit 2 bezeichnet. Das eine Ende der Rolle 1 ist mit der Achse $AB$ verlöthet, das eine Ende der Rolle 2 dagegen ist mit einem Metallcylinder verbunden, der über die Achse $AB$ übergeschoben, aber von ihr isolirt ist. Endlich stehen die beiden Rollen, wie die Figur zeigt, durch einen Draht unter einander in Verbindung. Wird nun die Achse mit Hülfe der Kurbel in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung gedreht,

so bewegt sich die Rolle 1 nach oben, sie entfernt sich dabei von dem Nordpol des Hufeisenmagneten und nähert sich dem Südpol. Gleichzeitig ändert der weiche Eisenkern in der Rolle 1, der in Folge der Nähe des Nordpols sich in magnetischem Zustande befindet, seinen Magnetismus. Beide Umstände erzeugen in der Rolle 1 einen Strom, dessen Richtung durch Pfeile angedeutet ist. Auf ganz ähnliche Weise wird in der Rolle 2 ebenfalls ein Strom erzeugt, dessen Richtung aber, weil diese Rolle sich von dem Südpol entfernt und sich dem Nordpol nähert, die entgegengesetzte ist. Man sieht aber, dass bei der angegebenen

Fig. 37.



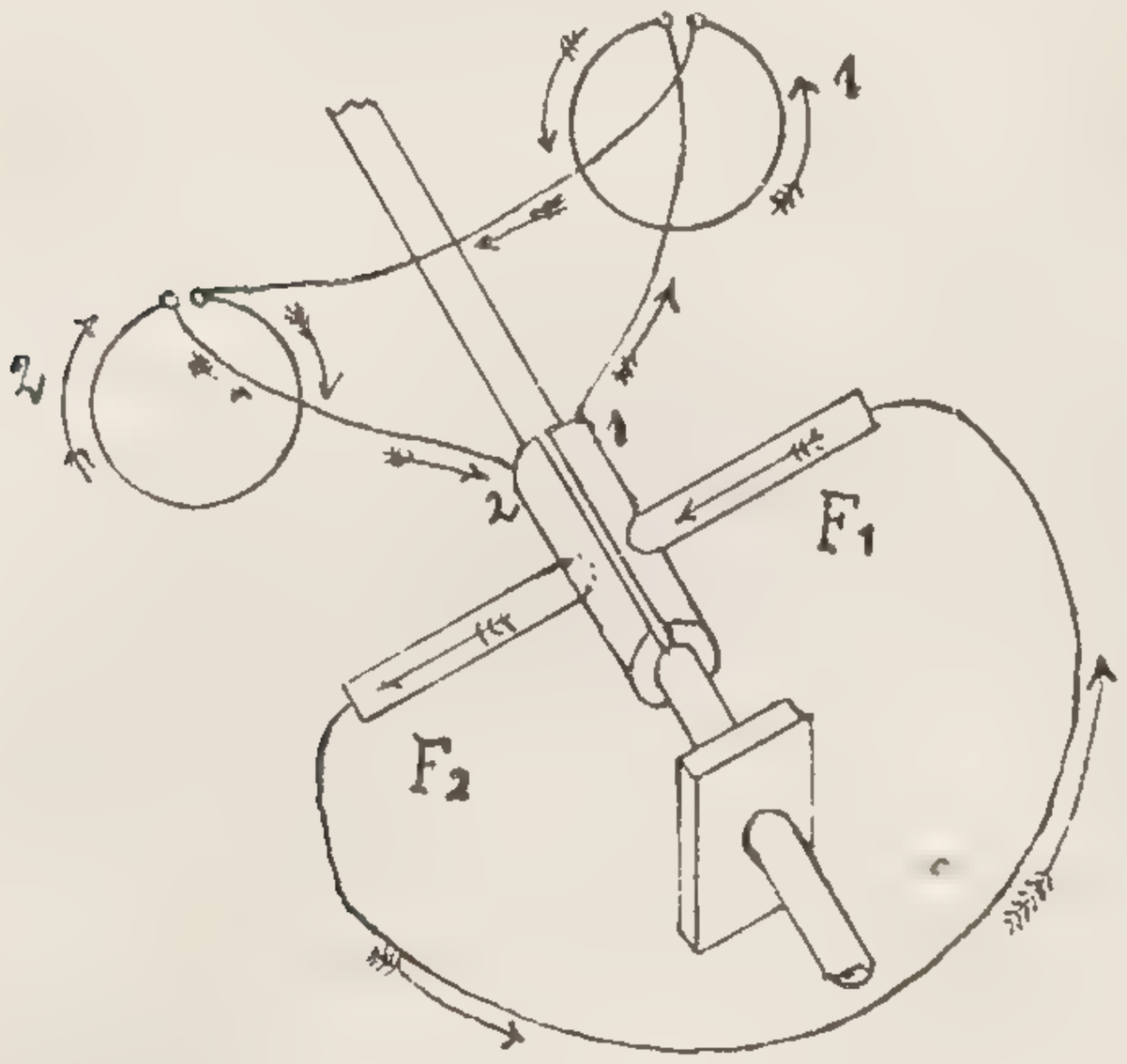

Verbindung der Rollen beide Ströme sich verstärken und dass, wenn man auf dem Metallcylinder eine Feder schleifen lässt und diese durch irgend einen Verbindungsdraht mit der Achse $AB$ in Verbindung setzt, in diesem Verbindungsdraht ein Strom circuliren muss.

Hat nach einer halben Umdrehung der Achse $AB$ die Rolle 1 die Lage angenommen, welche vordem die Rolle 2 inne hatte (Fig. 37 zeigt den Apparat in diesem Zeitmoment), so bewegt sich von nun an die Rolle 1 so, wie vordem die Rolle 2, die Rolle 2 so, wie vordem die Rolle 1. In den beiden Rollen müssen dann

nothwendig Ströme erzeugt werden, welche im Vergleich zu der ersten halben Umdrehung die entgegengesetzte Richtung besitzen, und damit muss auch während der zweiten halben Umdrehung der Strom in dem Verbindungsdraht die entgegengesetzte Richtung haben, wie in der ersten halben. Dreht man folglich die Kurbel in der durch Pfeile angedeuteten Richtung dauernd herum, so entstehen in dem Verbindungsdrahte abwechselnd entgegengesetzte Ströme. Man nennt solche Ströme „Wechselströme“ und die Maschine, welche sie hervorbringt, eine Wechselstrommaschine.

Hier sehen Sie eine solche Maschine, welche sich von der beschriebenen nur dadurch unterscheidet, dass die Achse $AB$ nicht direct durch eine Kurbel, sondern durch einen Schnurlauf gedreht wird. Die vorstehende Maschine ist wesentlich zu physiologischen Zwecken gebaut. Es sind zu dem Zwecke in den äusseren Stromkreis zwei Handhaben eingeschaltet, um die Wechselströme durch den menschlichen Körper hindurch gehen zu lassen. Bei stärkeren Maschinen können Wechselströme auch zu Lichtwirkungen benutzt werden, doch ist ihre praktische Verwendung, gleichgerichteten Strömen gegenüber, viel kleiner, und daher erklärt es sich, dass man wenige Jahre später versuchte, die Wechselströme in gleichgerichtete Ströme umzuwandeln oder aus einer Wechselstrommaschine eine Gleichstrommaschine zu machen.

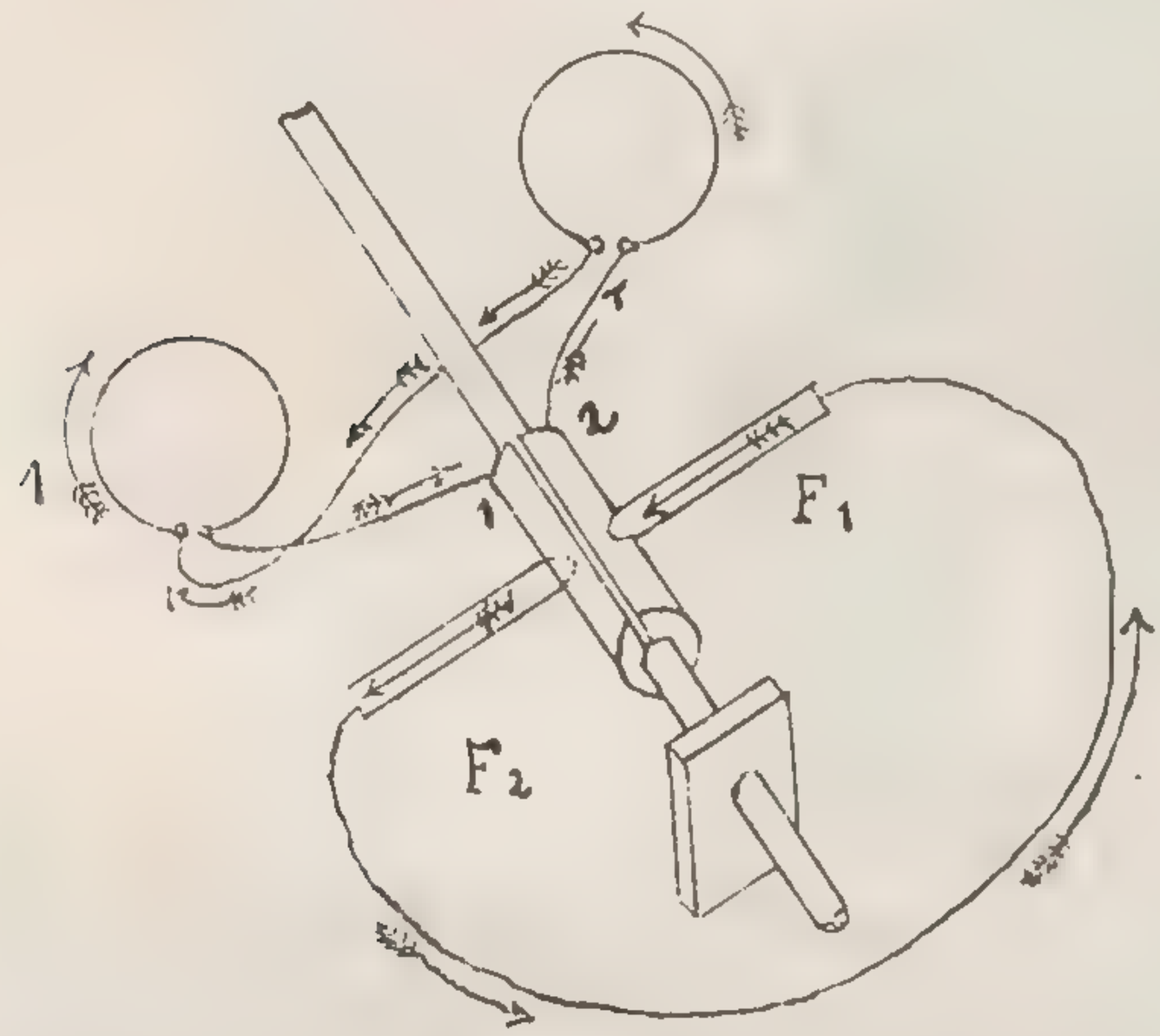
Fig. 38.




Die Lösung dieser Aufgabe geschah durch die Einführung des Commutators oder des Stromumschalters. Um das Wesen des Commutators deutlich zu machen, ist in Fig. 38 und 39 die-

selbe Maschine, aber als Gleichstrommaschine dargestellt, dabei ist der Hufeisenmagnet und die Kurbel in der Zeichnung fortgelassen, Der ganze Unterschied besteht nur darin, dass jetzt an Stelle des Metallrohres, welches in Fig. 36 und 37 isolirt über die Achse $AB$ geschoben ist, zwei Rohrhälften (in der Zeichnung durch 1 und 2 bezeichnet) gesetzt sind, welche von einander durch zwei Längsschnitte und ausserdem jede von der Achse $AB$ isolirt sind. Der Theil 1 ist ausserdem mit der Rolle 1, der Theil 2 mit der Rolle 2 durch einen Draht verbunden. Lässt man, Fig. 38, die Feder $F_1$ auf dem Theile 1, die Feder $F_2$ auf dem Theile 2 schleifen und setzt durch einen Verbindungsdraht die beiden Federn mit einander in Verbindung, so geht bei der ersten halben Umdrehung der Kurbel der erzeugte Strom von der Rolle 2 zum Theile 2 des Commutators, von hier durch die Feder $F_2$, durch den Verbindungsdraht nach $F_1$, zum Theil 1 des Commutators, zur Rolle 1 und von hier zur Rolle 2 zurück. Hat sich, wie Fig. 39 darstellt, die Kurbel um 180° gedreht, so durchläuft der in der Rolle 1 erzeugte Strom denselben Weg. In beiden Hälften der Umdrehung gehen Ströme in derselben Richtung durch den äusseren Verbindungsdraht und folglich wird auch bei dauernder Umdrehung ein immer gleichgerichteter Strom erzeugt.

Fig. 39.




Da die Ströme, welche durch diese Maschine erzeugt werden können, immer verhältnissmässig schwach sind, war man vor Allem bestrebt, Einrichtungen zu treffen, durch welche die Intensität der Ströme erhöht wurde. Es gelang auch bald Stöhrer,

durch Anwendung einer grösseren Anzahl Hufeisenmagnete und Drahtrollen, so starke Ströme hervorzubringen, dass er durch sie Drähte ins Glühen versetzen und selbst technische Anwendungen, z. B. Sprengung von Minen, machen konnte.

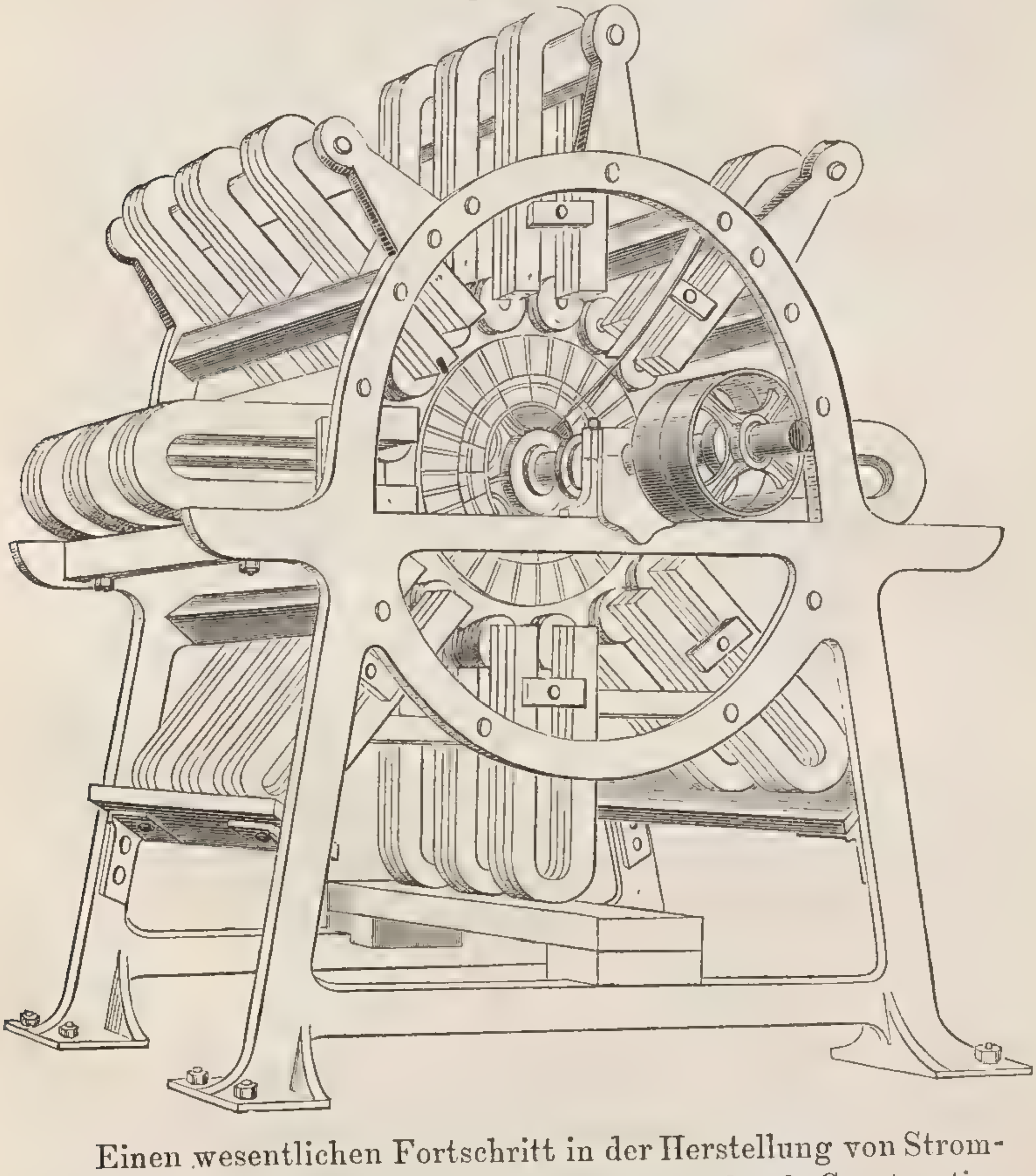
Sie sehen hier, Fig. 40, eine solche Stöhrer'sche Maschine mit nur 3 Hufeisenmagneten und 6 Rollen. Er hat jedoch auch

Fig. 40.

Maschinen mit 8 Hufeisenmagneten und 16 Rollen gebaut. Am weitesten in der Vermehrung der Hufeisenmagnete und Rollen ist die französische Gesellschaft l'Alliance gegangen, indem sie bei den sogenannten Alliancemaschinen 48 Magnete und 96 Rollen zur Anwendung brachte. Sie sehen hier, Fig. 41, eine solche Maschine in Abbildung. Diese längere Zeit und vielleicht noch

heute in Betrieb befindliche Maschine bedarf als Triebkraft einer Dampfmaschine und liefert Ströme, welche zur elektrischen Beleuchtung, namentlich auf Leuchtthürmen, benutzt wurden. Aber auch heute hat dieselbe nur noch historischen Werth, da sie durch weit bessere Maschinen ersetzt worden ist.

Fig. 41.



Einen wesentlichen Fortschritt in der Herstellung von Strommaschinen machte Siemens im Jahre 1857 durch Construction seiner Cylindermaschine. Waren auch die physikalischen Principien, auf denen diese Maschine beruht, genau dieselben wie

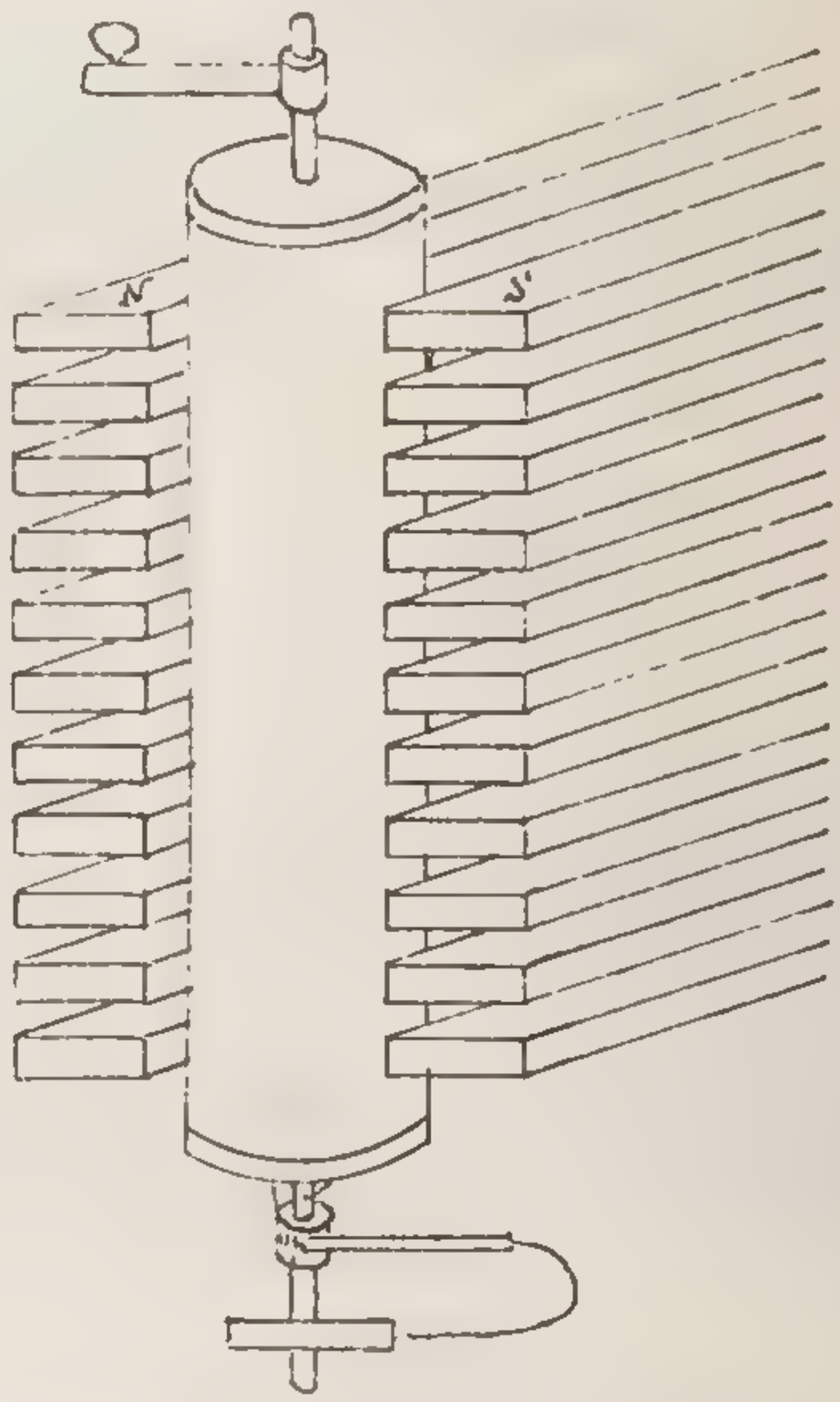
bei den früher betrachteten Maschinen, so unterschied sie sich doch von ihnen vortheilhaft durch die viel zweckmässigere Anordnung der einzelnen Theile. Der wichtigste Theil ist der Cylinderinductor. Er besteht aus einem langen Cylinder aus

Fig. 42.

weichem Eisen, in welchem der Länge nach zwei tiefe Nuten eingehobelt sind. Der chraffirte Theil der Fig. 42 stellt den Eisencylinder dar. Er besitzt die Form eines doppelten lateinischen T. Die Nuten sind durch Drahtwindungen ausgefüllt, welche parallel der Cylinderachse aufgewunden sind. Fig. 42 zeigt die Querschnitte der Windungen, Fig. 43 die Windungen selbst. Zu beiden Seiten des Cylinders (Fig. 44), ist ein System von Magneten so untereinander aufge-

Fig. 43.

Fig. 44.




stellt, dass sich zur linken Seite der Rolle lauter Nordpole, zur rechten lauter Südpole befinden, und dass sich der Cylinder zwischen diesen entgegengesetzten Polen drehen kann. Die abgewandten Enden der Magnete sind an einer weichen Eisenplatte

befestigt, so dass die Magnete sich wie ein System Hufeisenmagnete verhalten. Zur Drehung der Inductorrolle ist dieselbe mit Zapfen versehen, die in Lagern liegen. Auf dem unteren Zapfen ist ebenso wie bei den betrachteten Maschinen ein isolirter Metallring aufgeschoben, auf welchem eine Feder schleift. Dreht man den Inductor, so wird ein zwischen der Feder und dem unteren Lager eingeschalteter Draht von Wechselströmen durchströmt. Selbstverständlich können auch hier die Wechselströme durch einen Commutator in gleichgerichtete Ströme umgewandelt werden.

Die Ströme, welche diese Maschine hervorbringt, sind relativ zu der angewandten Zahl der Magnete erheblich intensiver. Siemens benutzte dieselbe einmal zum Betriebe seines Inductionszeigertelegraph, der in dem letzten Vortrage besprochen wurde, sodann aber zur Auslösung der Läutewerke, welche längs der Eisenbahnen die Züge ankündigen, deren charakteristischer Klang wohlbekannt ist. Die Maschine führt bei dieser letzten Anwendung den Namen „Läuteinductor“ und ist noch jetzt überall bei den Eisenbahnen in Thätigkeit.

Hier stehen zwei solche Maschinen in kleinerer Ausführung vor Ihnen. Ich habe die eine mit einem Läutewerke in Verbindung gesetzt. Ein paar Umdrehungen genügen, um das Läutewerk in Gang zu setzen. Selbst viel kleinere derartige Maschinen, wie Sie hier eine solche sehen, können zum Betriebe elektrischer Klingeln benutzt werden.

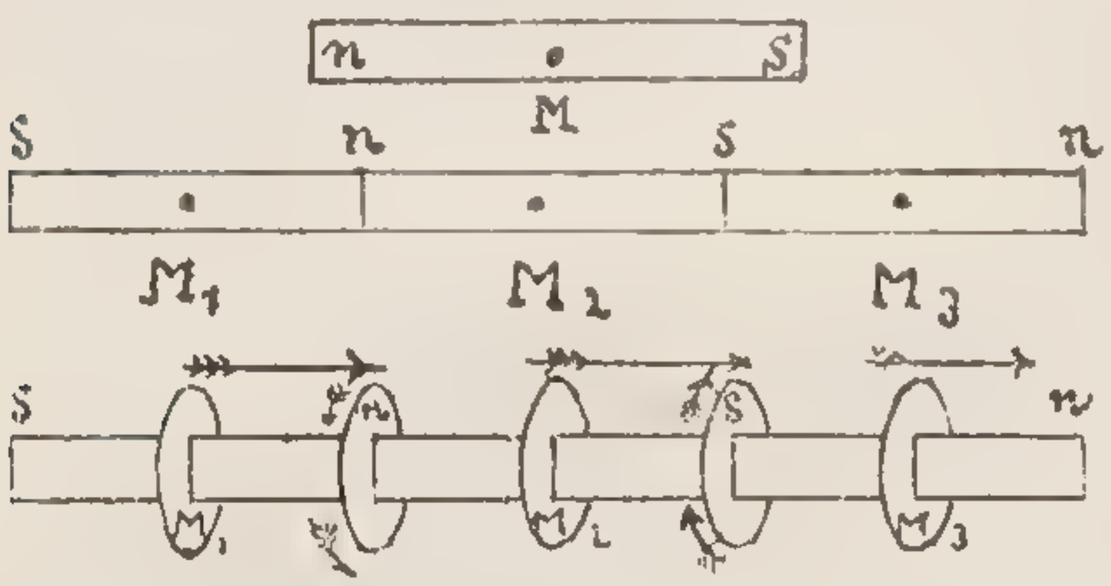
Die Maschinen, welche wir bisher betrachtet haben, geben einen ungefähren Einblick, bis wie weit man in der Herstellung von Strommaschinen gekommen war, als die grossartige Entwicklungsperiode, in der wir uns heute befinden, ihren Anfang nahm, welche zur Begründung eines neuen technischen Zweiges, „der Elektrotechnik“, geführt hat. Zwei grosse Entdeckungen bilden die Einleitung zu dieser neuen Periode: 1) der Ring von Pacinotti, 2) das Dynamoprincip von Siemens. Hatte schon jede einzelne Entdeckung für sich einen grossen Einfluss auf die Vervollkommnung der Maschinen, so wurde der Einfluss noch erhöht, als man gelernt hatte, beide Entdeckungen gleichzeitig zu verwerthen. Obwohl diese Principe einer populären Darstellung gewisse Schwierigkeiten

entgegensetzten, will ich doch versuchen Ihnen dieselben darzulegen.

Durch sämmtliche bis jetzt betrachteten Maschinen werden unmittelbar Wechselströme erzeugt, welche erst mit Hülfe eines Commutators in gleichgerichtete Ströme verwandelt werden können. Pacinotti, Professer in Pisa, stellte sich die Aufgabe, eine Maschine herzustellen, welche direct, ohne Commutator, gleichgerichtete Ströme hervorbringt. Durch folgende höchst sinnreiche Betrachtungen gelang es ihm, die Aufgabe zu lösen.

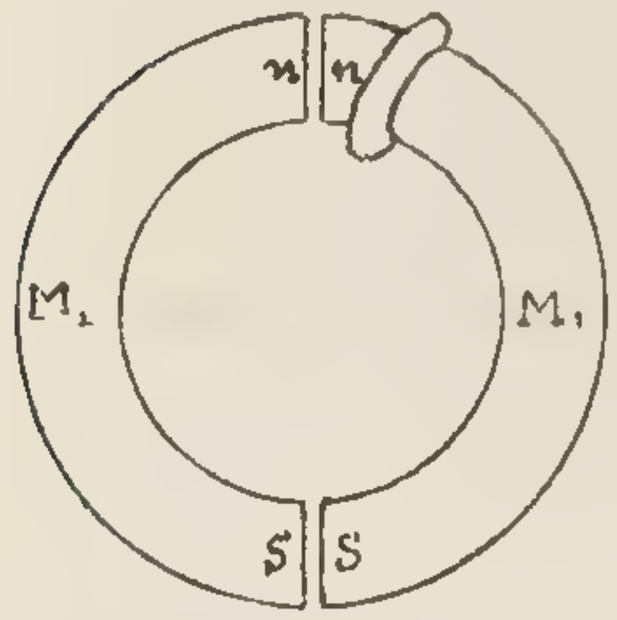
Jeder Magnet (Fig. 45) besitzt zwei Pole, einen Nord- und einen Südpol, in der Mitte *M* ist der Magnet unmagnetisch. Man nennt diese Stelle die indifferente Zone. Legen wir drei Magnete so aneinander, dass (wie Fig. 45 zeigt) gleichartige Pole zur Berührung kommen, so erhalten wir ein System von Magneten, welche im Ganzen zwei Südpole, zwei Nordpole und drei indifferente Zonen $M_1$, $M_2$, $M_3$ besitzt. Führt man nun eine Rolle, oder der Einfachheit wegen, einen einfachen Drahtring von links nach rechts über die Magnete mit gleichförmiger Geschwindigkeit hinweg, so werden in dem Ringe durch Magnetinduction Ströme erzeugt, welche die in Fig. 45 gezeichneten Richtungen besitzen. Betrachten wir den Ring in dem Augenblicke, wo er sich gerade über der indifferenten Zone $M_1$ befindet, so zeigt sich, dass in diesem Augenblicke in dem Ringe gar kein Strom circulirt. Während er sich aber von $M_1$ nach $n$ und von $n$ nach $M_2$ bewegt, wird in dem Ringe ein Strom erzeugt, welcher in der dem Beschauer zugewendeten Seite von oben nach unten fliesst. Dabei nimmt der Strom von $M_1$ an Stärke zu, bis der Ring sich gerade über $n$ befindet, dagegen an Stärke wieder ab, während er sich von $n$ bis $M_2$ bewegt, so dass in dem Ringe gar kein Strom vorhanden ist, wenn derselbe über $M_2$ angekommen ist.

Fig. 45.



Bewegt sich der Ring weiter von $M_2$ nach $M_3$, so wiederholt sich dieselbe Erscheinung, nur ist dabei die Richtung des Stromes die entgegengesetzte. Der Strom strömt in der dem Beschauer zugewandten Seite des Ringes von unten nach oben. Seine Stärke wächst auf dem Wege von $M_2$ bis $s$, nimmt ab auf dem Wege von $s$ bis $M_3$, in $M_3$ selbst ist die Stromstärke wieder null. Wir können daher das Resultat dieser Betrachtung dahin zusammenfassen, dass wir sagen: Bewegt sich der Ring von einer indifferenten Zone über den Nordpol zur zweiten indifferenten Zone, so wird ein Strom in einer bestimmten Richtung erzeugt, bewegt sich der Ring von einer indifferenten Zone über den Südpol zu der folgenden indifferenten Zone, so wird ein gleich starker aber entgegengesetzt gerichteter Strom im Ringe hervorgerufen. Während der Ring eine indifferente Zone passirt, circulirt in demselben gar kein Strom.

Fig. 46.

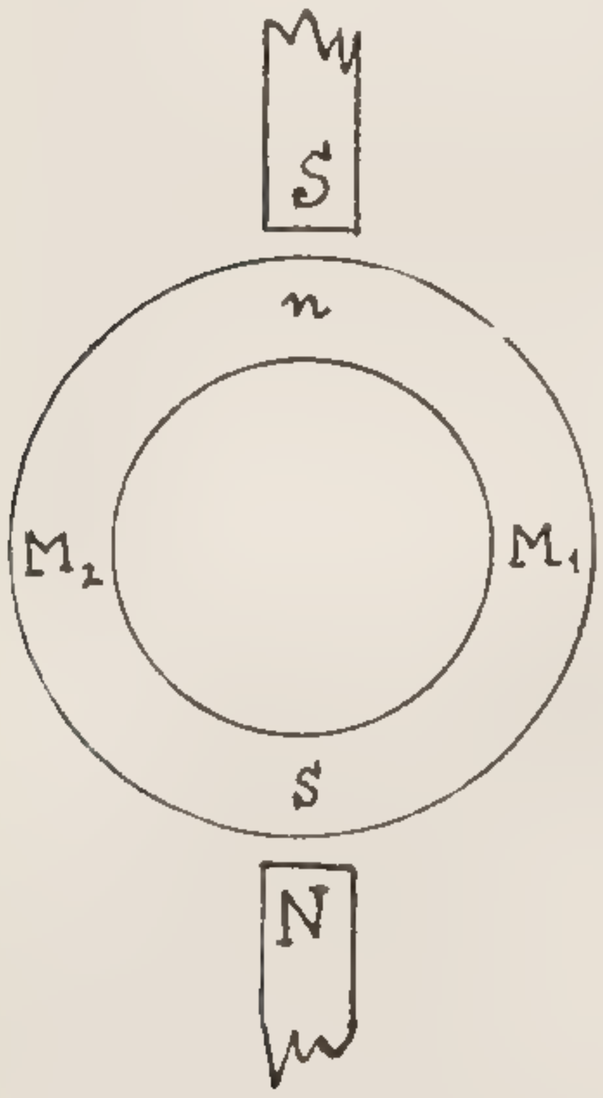



Offenbar werden genau dieselben Erscheinungen eintreten, wenn wir zwei halbkreisförmige Magnete (Fig. 46) mit ihren gleichnamigen Polen zu einem magnetischen Ring zusammenlegen, und längs dieses magnetischen Ringes unseren Drahtring verschieben. Die Nordpole der beiden halbkreisförmigen Magnete bilden zusammmen einen einzigen Nordpol, und ebenso die beiden Südpole einen einzigen Südpol. Während der Bewegung des Drahtringes von $M_1$ über $n$ nach $M_2$ und sodann von $M_2$ über $S$ nach $M_1$ zurück, werden Ströme in entgegengesetzter Richtung erzeugt, während in den indifferenten Zonen $M_1$ und $M_2$ selbst im Ringe kein Strom circulirt.

Einen solchen magnetischen Ring stellte nun Paccinotti im Jahre 1860 auf ganz eigenthümliche Weise her. Er bediente sich eines Ringes aus weichem Eisen (Fig. 47 a. f. S.) und brachte in die Nähe desselben an zwei diametralen Punkten den Südpol und den Nordpol eines starken Magneten. Wir wissen, dass alsdann in dem weichen Eisen dem Südpol $S$ gegenüber ein Nordpol $n$, dem Nordpol $N$ gegenüber ein Südpol $s$ entsteht. Zwischen den Polen $n$ und $s$ bilden sich dann zugleich die indifferenten Zonen $M_1$ und $M_2$. Wir erhalten folglich auf diese Weise einen

magnetischen Ring, welcher dem vorigen, aus permanenten Magneten zusammengesetzten, völlig gleicht. Aber in einem Punkte unterscheidet sich der letzte Ring doch wesentlich von dem ersten. Denken wir uns den Eisenring in Fig. 47 gedreht, so wird in jeder einzelnen Stellung, welche der Ring nach einander durchläuft, immer dem Nordpol gegenüber ein Südpol, dem Südpol gegenüber ein Nordpol sich bilden. Mit anderen Worten: trotz der Drehung des Ringes behalten der Nordpol *n* und der Südpol *s* des Eisenringes und ebenso die beiden indifferenten Zonen dem Raume nach immer dieselbe Lage bei, relativ zu dem sich drehenden Ringe dagegen wandern sie in ihm in einer der Drehung entgegengesetzten Richtung vorwärts. Bei Drehung des aus permanenten Magneten zusammengesetzten Ringes dagegen drehen sich der Nordpol *n* und der Südpol *s* mit dem Ringe.

Fig. 47.

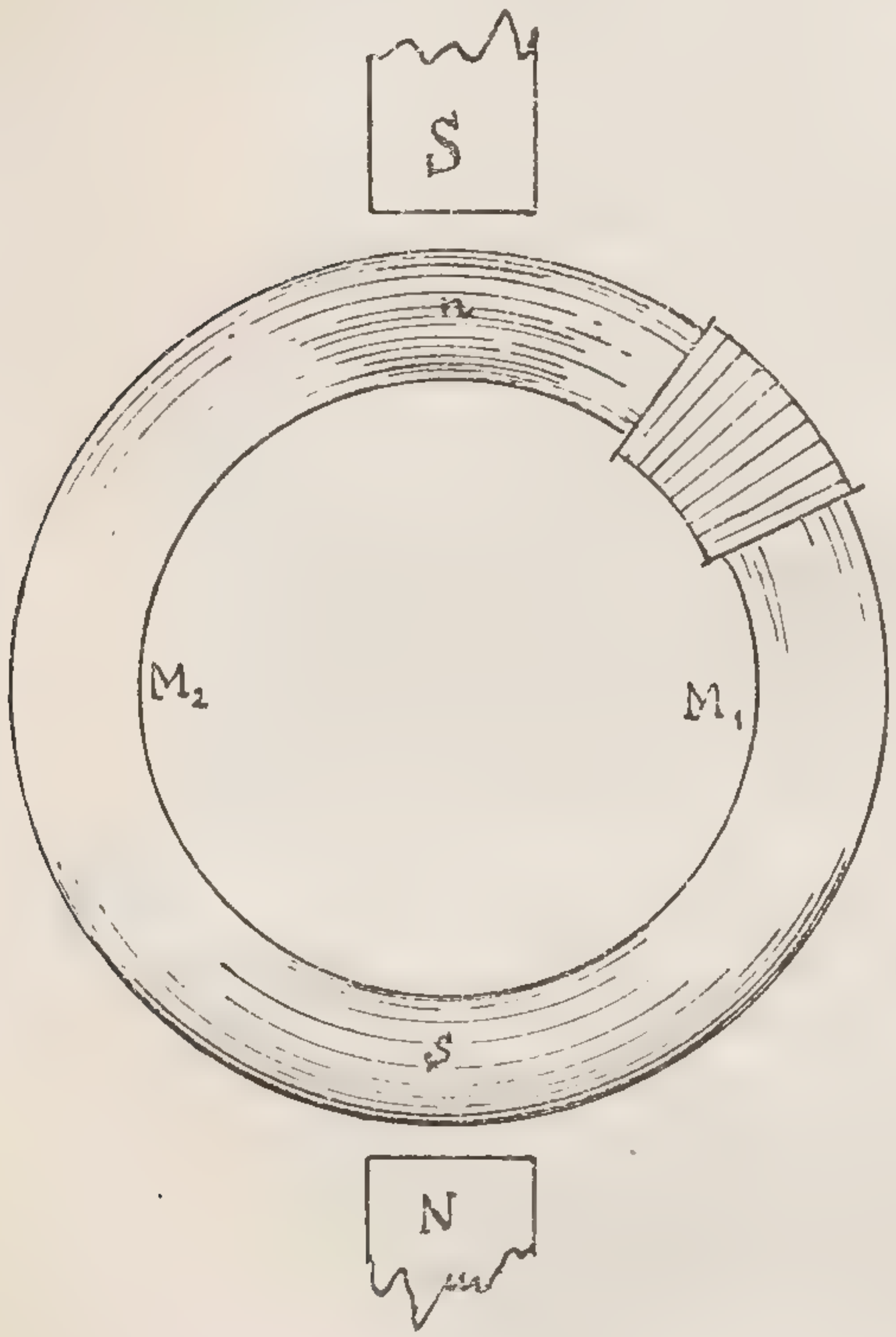



Wir können diese Erscheinung auf sehr schöne Weise auf optischem Wege darstellen. Sie sehen hier Fig. 48*) den eisernen Ring und die beiden ihm genäherten Pole *S* und *N*. Der Südmagnetismus ist dabei durch blaue, der Nordmagnetismus durch braune Färbung angedeutet. Der in dem eisernen Ringe hervorgerufene Nord- und Südmagnetismus *n* und *s* ist in Wirklichkeit nicht in einem Punkt concentrirt, sondern erstreckt sich mit abnehmender Stärke über die beiden Ringhälften. Die

*) Die beiden Zeichnungen Fig. 48 und 49 wurden beim Vortrage durch Projection zur Darstellung gebracht. Dabei war der Ring und die Rolle bei Fig. 48 auf einer Glasplatte aufgezeichnet worden, welche durch ein, an der Peripherie der Fassung angebrachtes Getriebe in Rotation versetzt werden konnte. Unmittelbar hinter dieser Glasplatte befand sich eine zweite, aber feststehende Glasplatte, auf welcher die magnetische Vertheilung im Ringe und die beiden Magnetpole durch braune und blaue Färbung dargestellt waren. Bei Drehung der vorderen Glasplatte sah der Zuschauer den Ring mit der Rolle sich drehen, während die magnetische Vertheilung im Ringe dem Raume nach

völlig weissen Stellen enthalten gar keinen Magnetismus, sie sind die indifferenten Zonen. Drehen wir jetzt den Ring und mit ihm z. B. eine auf den Ring fest aufgesetzte Rolle, so behält, obgleich der Ring sich dreht, die magnetische Vertheilung in ihm während der Drehung in räumlicher Beziehung immer dieselbe Lage bei.

Fig. 48.



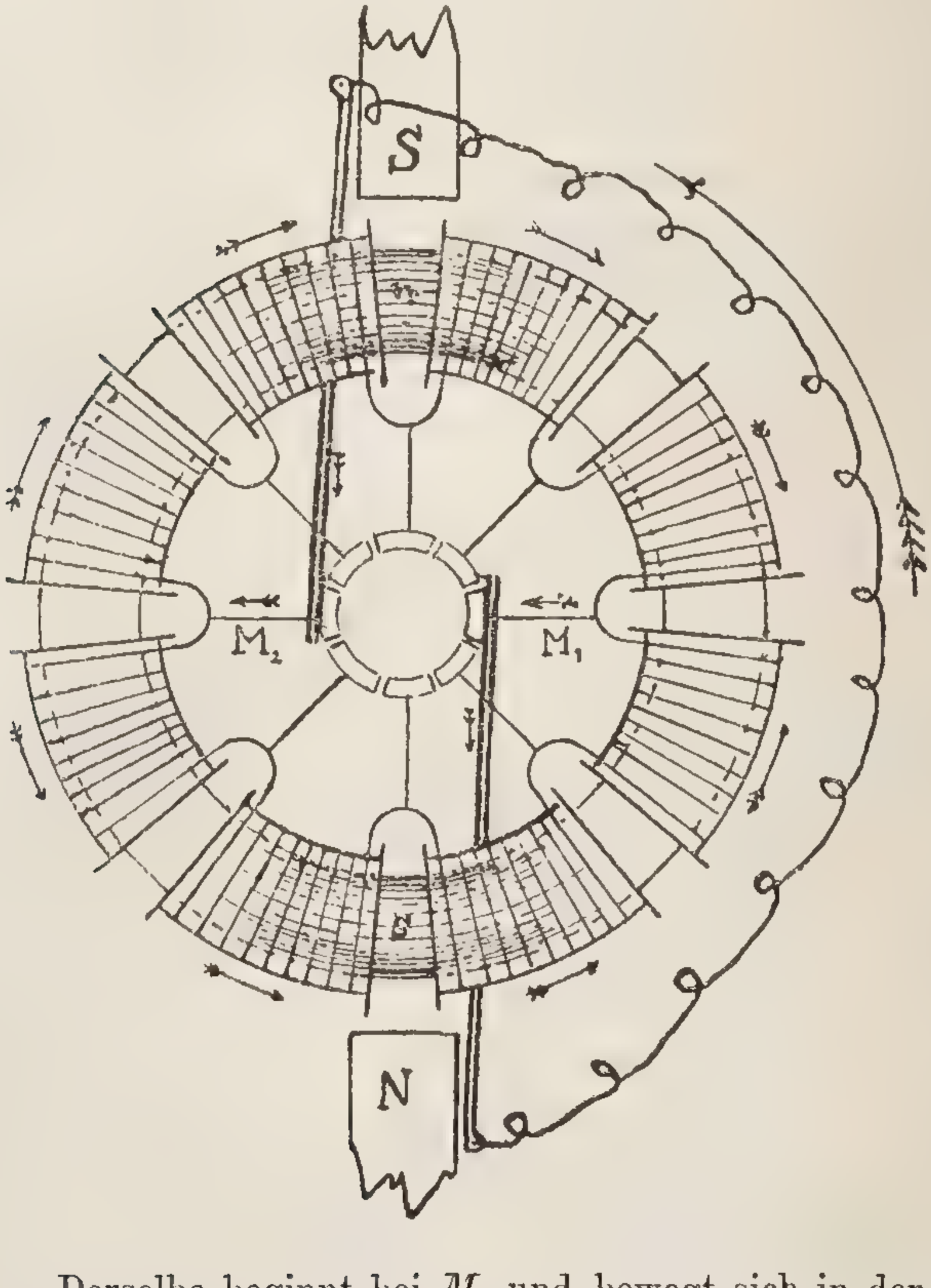

Obgleich ferner die Rolle auf dem Ringe fest aufsitzt, bewegt sie sich bei der Drehung des magnetischen Ringes von der indifferenten Zone $M_1$ über den Nordpol im Ringe $n$ nach $M_2$ über den Südpol $s$ nach $M_1$ zurück u. s. f. Dabei werden in ihr, wie wir sahen, auf beiden Hälften von $M_1$ über $n$ nach $M_2$ und von $M_2$ über $s$ nach $M_1$ Ströme in entgegengesetzter Richtung erzeugt.

---

dieselbe blieb. In gleicher Weise enthielt bei der Fig. 49 die drehbare Glasplatte den Pacinotti'schen Ring mit seinen Rollen und dem Collector, die feststehende Glasplatte die Magnetpole, die magnetische Vertheilung im Ringe und die Bürsten mit dem Verbindungsdraht. Bei der Rotation der drehbaren Platte sah man alsdann den Ring mit den Rollen sich drehen, während die magnetische Vertheilung im Ringe dem Raume nach dieselbe blieb und zugleich die einzelnen Collectorabtheilungen der Reihe nach mit den Bürsten in Contakt traten.

Befestigen wir jetzt auf dem Ringe eine ganze Anzahl solcher Rollen, z. B. 8, die unter einander verbunden sind, so gilt dasselbe für jede einzelne Rolle. Alle Rollen, welche sich auf dem oberen Theil des Eisenringes in einem bestimmten Augenblick befinden, werden in derselben Richtung von einem Strom durch-

Fig. 49.

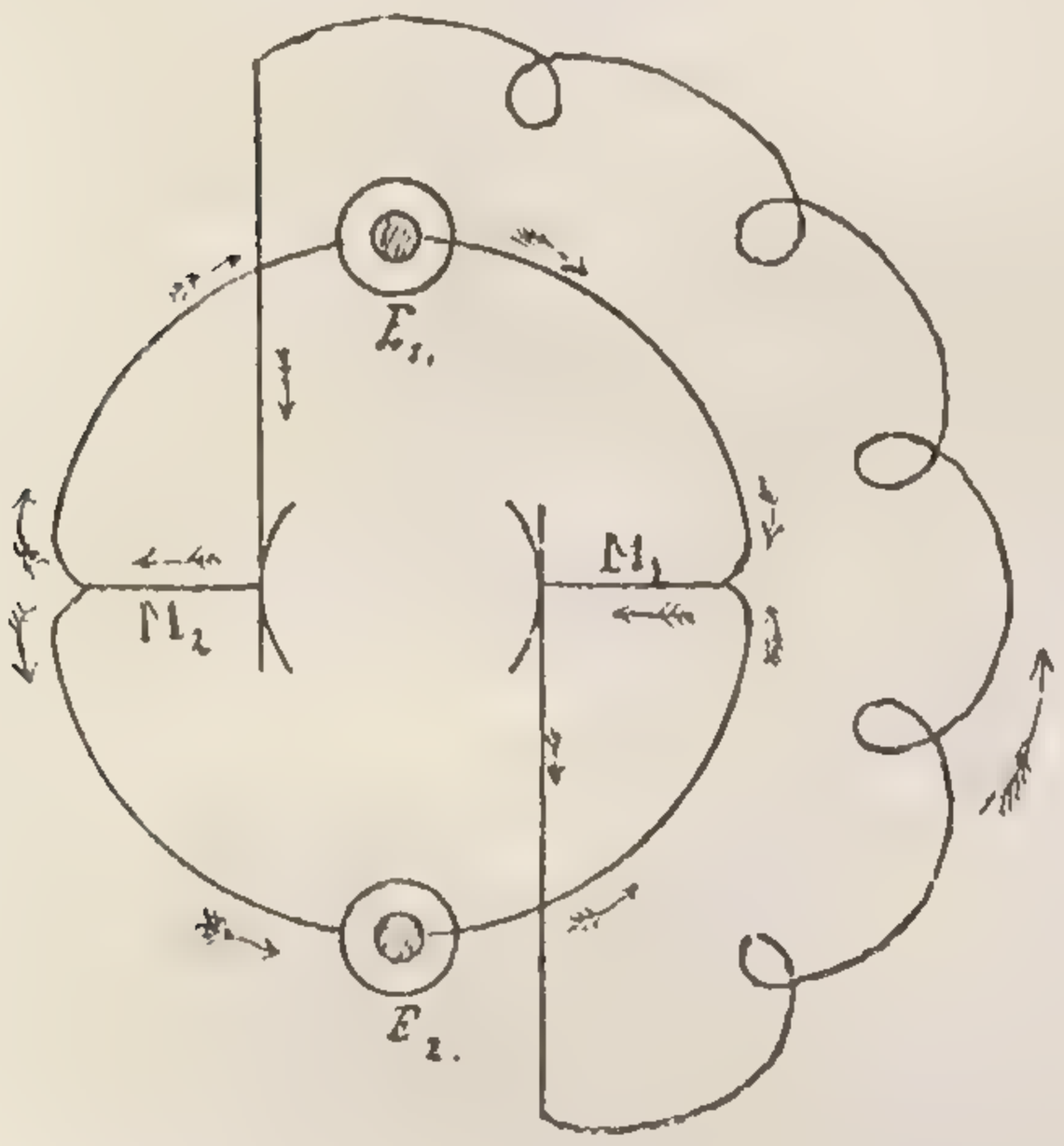



flossen. Derselbe beginnt bei $M_2$ und bewegt sich in der Richtung der Pfeile über $n$ nach $M_1$, wo er endigt. Gleichzeitig werden alle Rollen auf dem unteren Theil des Ringes, die zwischen $M_2$ $S$ $M_1$ gelegen sind, von einem entgegengesetzten Strom durchströmt, der gleichfalls bei $M_2$ beginnt und bei $M_1$

endigt. Die Ströme in den Rollen der beiden Ringhälften strömen folglich bei $M_1$ zusammen, bei $M_2$ auseinander.

Um diese so erzeugten Ströme nutzbar zu machen, befestigte Pacinotti an der Drehungsachse des Ringes, aber isolirt von ihr, acht lamellenartige Kupferstücke, die durch Schnitte von einander getrennt sind und zusammen eine Röhre bilden. Man nennt diese Vorrichtung Collector oder Stromsammler. Jedes Kupferstück wird durch einen radial geführten Draht mit dem Verbindungsdraht je zweier aufeinander folgender Rollen verbunden. Endlich liess er zwei Federn oder Metallbürsten, die durch einen beliebigen Verbindungsdraht mit einander verbunden sind, so an der Peripherie des Collectors schleifen, dass die Berührungspunkte in der Fluchtlinie $M_1$ $M_2$ gelegen sind. Die bei $M_1$ zusammenströmenden Ströme können sich jetzt vereinigen und durch den radialen Draht nach dem mit ihm verbundenen Kupferstück, von hier durch die Feder, durch den Verbindungsdraht nach der zweiten Feder strömen. Sie fliessen alsdann durch diese Feder, durch das mit ihr in Berührung stehende Kupferstück in den radialen Draht, an dessen Ende sie sich wieder in zwei getrennte Ströme zerlegen, von denen der eine in die Rollen der oberen Hälfte, der andere in die Rollen der unteren Hälfte des Pacinotti'schen Ringes einströmt.

Fig. 50.

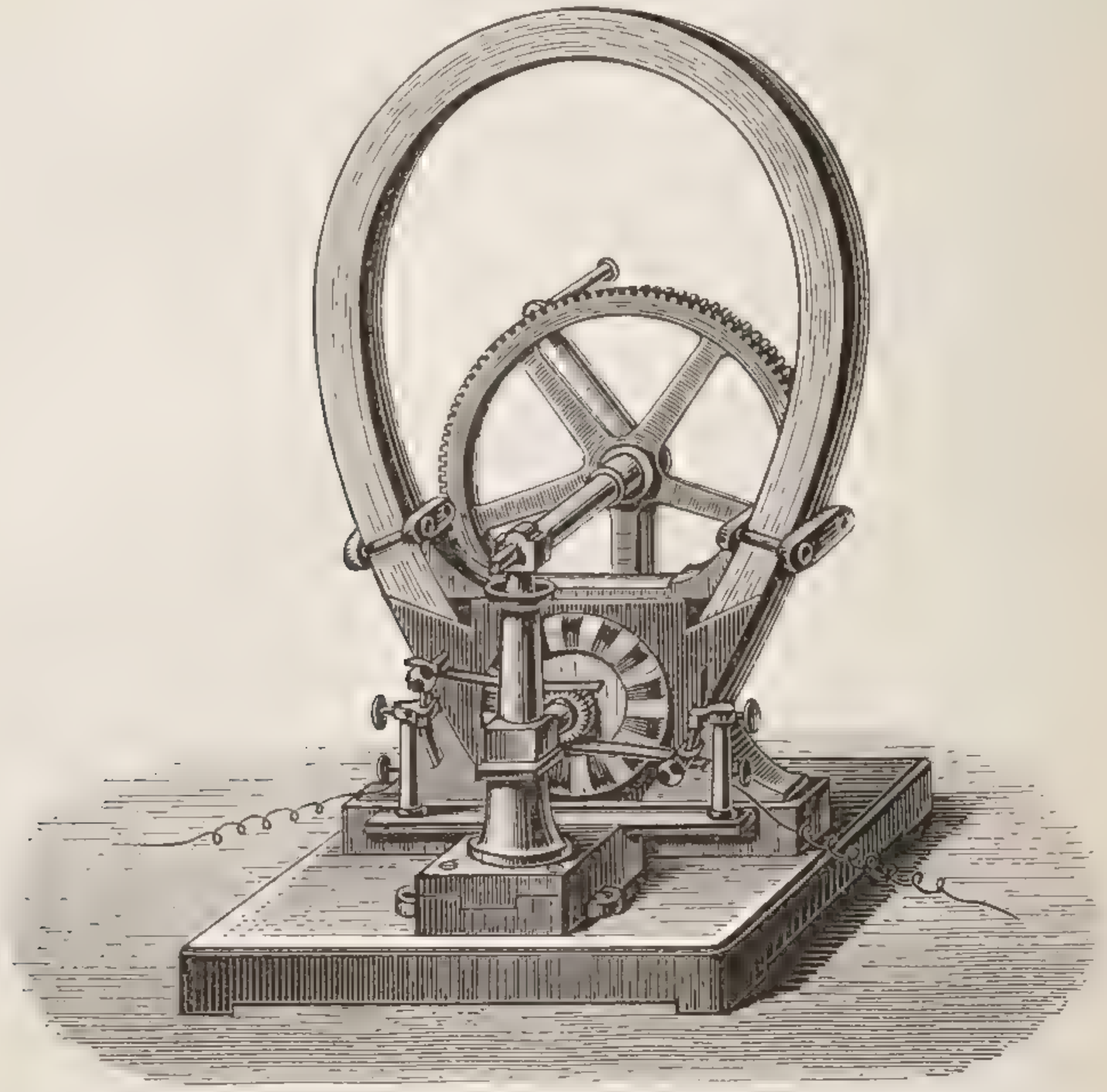



Bei der Drehung des Ringes bleiben die Verhältnisse ungeändert, da bei der Drehung der Rollen sowohl, wie die entsprechenden Kupferstücke, immer wieder in dieselbe Stellung gelangen, die wir soeben betrachtet haben. Es wird demnach bei

dauernder Drehung immer ein Strom in derselben Richtung von der rechts nach unten liegenden Feder, durch den äusseren Verbindungsdraht nach der links nach oben liegenden Feder strömen, und wir brauchen nur den äusseren Verbindungsdraht mit irgend welchen galvanischen Apparaten zu verbinden, um den Strom praktisch zu verwerthen.

Um vollständig zu sein, ist noch hinzuzufügen, dass auch in den Rollen Ströme, wenn auch von geringerer Stärke, entstehen,

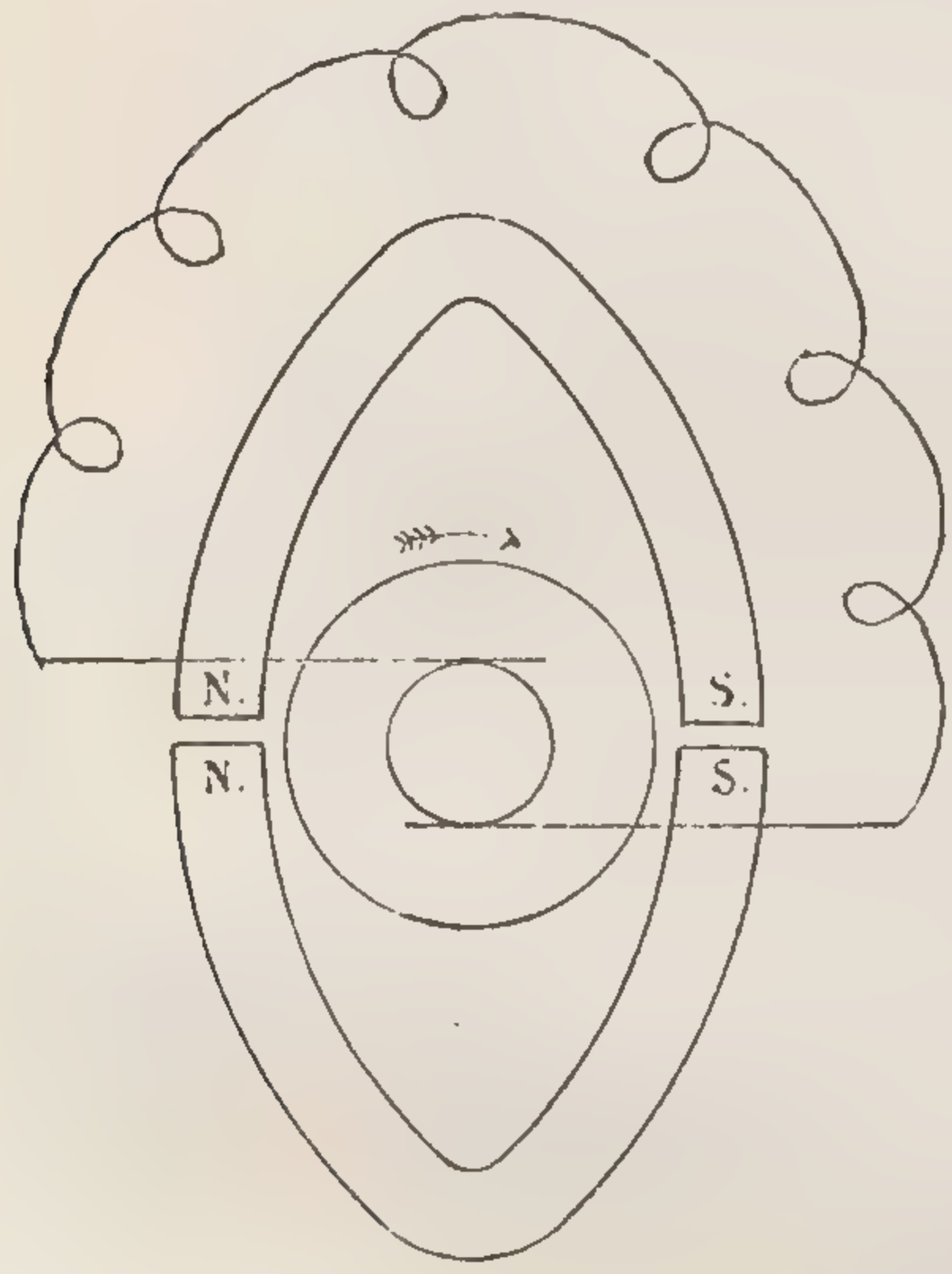
Fig. 51.



wenn der Eisenring ganz fehlte und die Rollen sich allein im Kreise herumbewegten, denn bei dieser Bewegung nähern, respective entfernen sie sich von den Polen *N* und *S*. Es hält nicht schwer nachzuweisen, dass die Ströme aus dieser zweiten Ursache in ihrer Richtung mit den vorher betrachteten Strömen zusammenfallen, so dass durch diese unmittelbare Einwirkung der beiden Magnetpole die Ströme verstärkt werden.

Aus diesen Betrachtungen geht also hervor, dass sich der Pacinotti'sche Ring, wenn er gedreht wird, gerade so verhält, wie wenn (Fig. 50, a. S. 77) zwei galvanische Elemente $E_1$ und $E_2$ entgegengesetzt in einen Stromkreis eingeschaltet werden, der sich bei $M_1$ und $M_2$ verzweigt. Die durch die Elemente erzeugten galvanischen Ströme verlaufen dann ganz in gleicher Weise und der Unterschied besteht nur darin, dass beim Pacinotti'schen Ring die elektromagnetischen Kräfte nicht durch Elemente, sondern durch Magnetinduction hervorgerufen werden.

Fig. 52.




An vorstehender Dynamomaschine, auf welche ich nachher zurückkommen werde, sehen Sie den Pacinotti'schen Ring in wirklicher Ausführung.

Es ist hier der Ort, eines Mannes zu gedenken, der sich um die Entwicklung der Strommaschinen die hervorragendsten Verdienste erworben hat, des Franzosen Gramme. Er war es, welcher zuerst das von Pacinotti angegebene Princip benutzte, um grössere und wirklich brauchbare Maschinen darauf zu gründen. Ich kann Ihnen die von Gramme construirte Maschine nur im Bilde*) vorführen. Der obere, eine Schleife bildende Theil des Apparates, Fig. 51, ist ein eigenthümlich gebogener Hufeisenmagnet, der nach Angabe von Jamin aus einzelnen Stahlplatten zusammengesetzt ist. Zwischen seinen Polen dreht sich der Pacinotti'sche Ring. Man sieht ferner deutlich die beiden schleifenden Federn, welche eine horizontale Lage haben. Zwei zu beiden Seiten angebrachte Drahtklemmen, welche mit den Federn in

*) Die Maschine wurde durch Projection dargestellt.

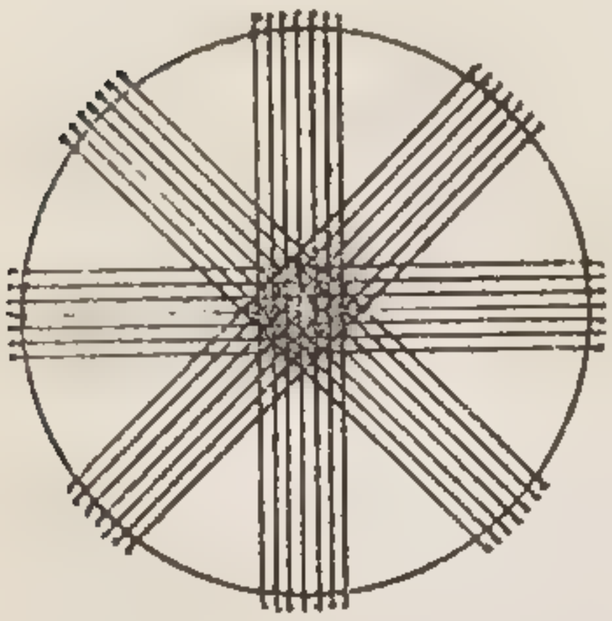
Verbindung stehen, nehmen die Enden des äusseren Verbindungsdrahtes in sich auf.

Nach Gramme wurde von v. Hefner-Alteneck eine neue Strommaschine, die Trommelmaschine, construirt, welche sich gleichfalls auf den Pacinotti'schen Ring gründet, aber sich doch von der Gramme'schen Maschine wesentlich unterscheidet. v. Hefner-Alteneck bedient sich (Fig. 52, a. v. S.) eines hohlen Eisencylinders, der Trommel, welche um ihre Längsachse zwischen den Polen eines Systems von Hufeisenmagneten drehbar auf-

Fig. 53.

gestellt ist. Die Hufeisenmagnete stehen sich mit gleichartigen Polen gegenüber. Auf der Trommel sind nach der Längsrichtung, wie Fig. 53 und 54 darstellten, acht Windungsschichten und mehr aufgewunden. Dieselben stehen unter sich und dem Collector in Verbindung, auf welchem, wie beim Pacinotti'schen Ring, zwei Federn schleifen, die den bei der Drehung der Trommel hervorgerufenen Strom dem äusseren Stromkreis zuführen. Hier sehen Sie eine solche Maschine in Abbildung Fig. 55, und hier steht eine solche Maschine in Wirklichkeit; sie liefert etwa denselben Strom wie acht Bunsen'sche Elemente. Da die Maschine gleichgerichtete Ströme hervorbringt, so lässt sie sich zu allen galvanischen Versuchen verwenden, zu denen man früher galvanische Elemente anwandte. Um ihre Wirksamkeit zu zeigen, wollen wir z. B. Wasser durch sie zersetzen lassen.

Fig. 54.

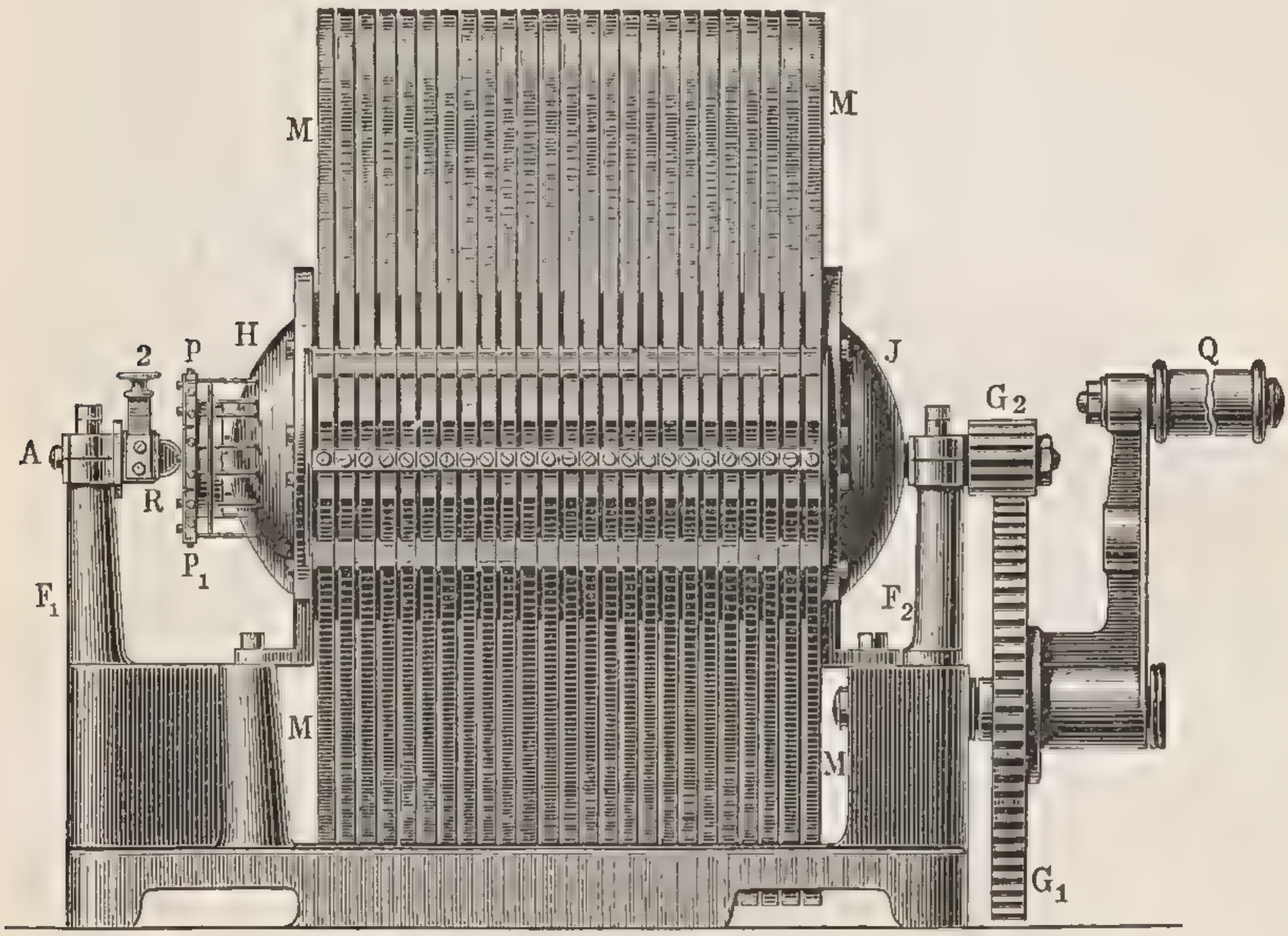


Im Jahre 1866 glückte es Werner Siemens, ein neues Princip in der Erzeugung elektrischer Ströme durch Magnet-

induction zu entdecken, welchem er den Namen Dynamoprincip ertheilte. Alle auf diesem Princip sich gründenden Maschinen führen den Namen Dynamomaschinen, während die früher betrachteten auf der Einwirkung permanenter Magnete beruhenden Maschinen magnetelektrische Maschinen heissen.

Als Vorläufer der Entdeckung von Siemens muss der englische Physiker Wilde genannt werden. Derselbe kam auf die Idee, bei der vorher betrachteten Siemens'schen Cylinder-

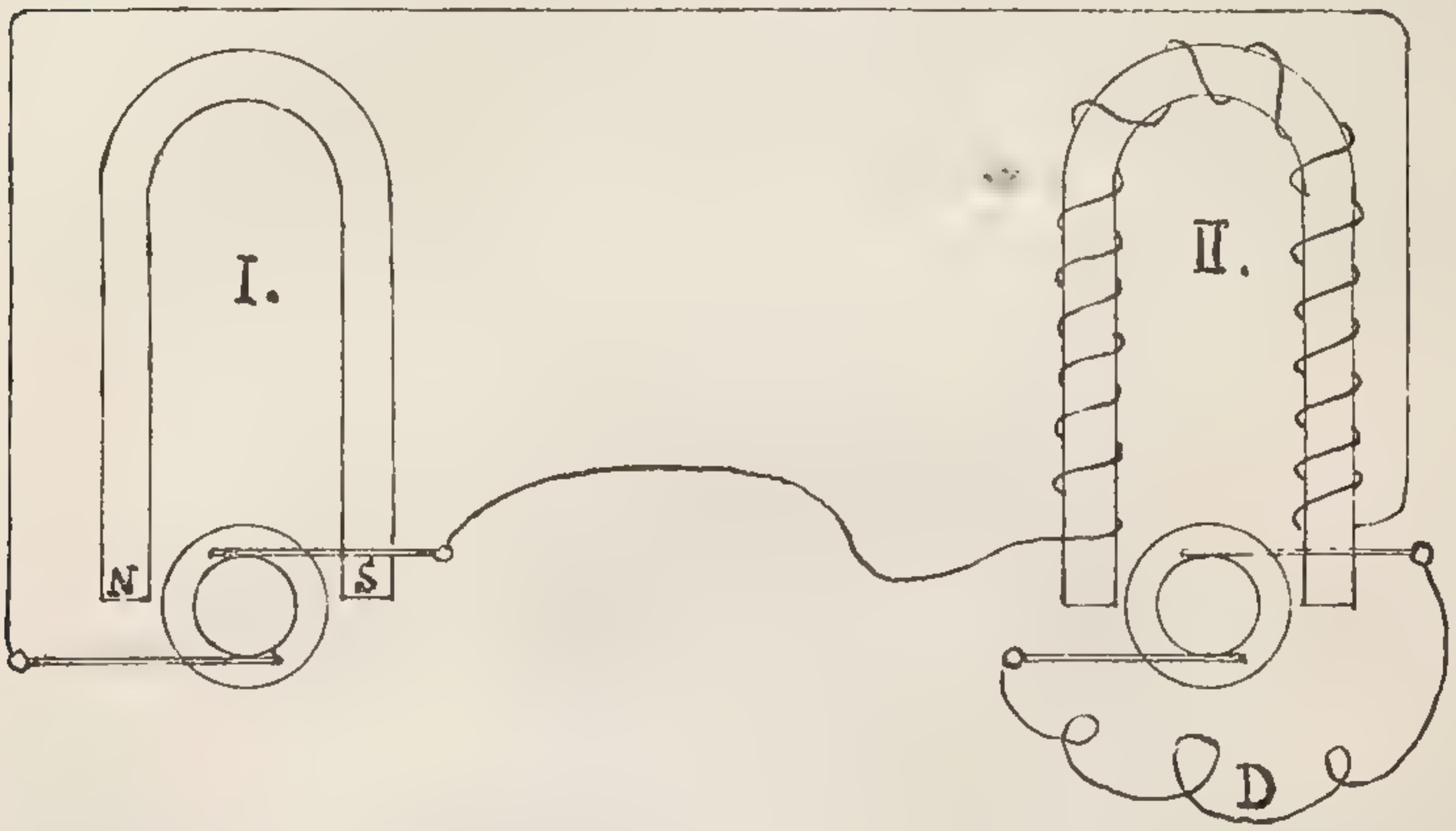
Fig. 55.




maschine die Magnete durch Elektromagnete zu ersetzen. Er combinirte zwei Maschinen (Fig. 56, a. f. S.), mit einander. Durch die Maschine I. mit permanenten Magneten erzeugte er einen Strom, den er durch die Elektromagnete der Maschine II. führte, wodurch dieselben in sehr kräftigen magnetischen Zustand versetzt wurden. Wurde nun der Cylinder der zweiten Maschine gedreht, so lieferte dieselbe in dem Verbindungsdraht *D* einen so starken Strom, dass derselbe zur Herstellung von Licht, zu galvanoplastischer Verkupferung, Versilberung benutzt werden konnte.

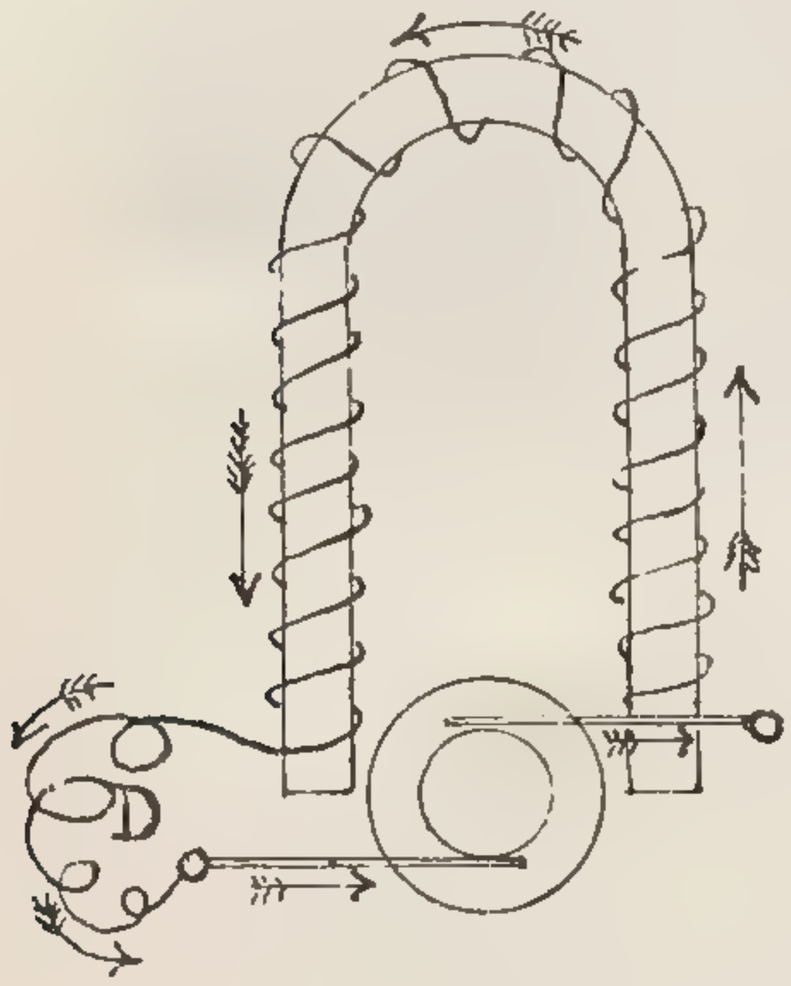
Bei dieser Verbindung der beiden Maschinen ist die Maschine I. eine Hülfsmaschine, welche nur dazu dient, den Elektromagneten

Fig. 56.




der Maschine II. zu erregen. Siemens kam nun auf den Gedanken, die Hülfsmaschine I. ganz fort zu lassen und den Strom der Maschine II. selbst zur Erregung der Elektromagnete zu benutzen. Die Möglichkeit der Ausführung dieses Gedankens beruht auf dem Umstande, dass weiches Eisen immer, schon durch die Einwirkung des Erdmagnetismus, eine Spur Magnetismus enthält, und daher der Hufeisenelektromagnet, auch wenn er von keinem Strome durchströmt wird, sich wie ein äusserst schwacher Magnet verhält. Fig. 57 zeigt die von Siemens getroffene Anordnung. Die eine Feder des mit einem Commutator versehenen Cylinders seiner Cylindermaschine verband er mit den Windungen des Elektromagneten, während zwischen die andere Feder und dem zweiten Ende des um die

Fig. 57.



Elektromagnete geführten Drahtes der äussere Verbindungsdraht *D* eingeschaltet wird.

Wird der Cylinder gedreht, so entsteht zunächst lediglich durch den im Eisen enthaltenen Magnetismus ein äusserst schwacher Strom. Dieser Strom fliesst durch die Feder, durch die Windungen des Elektromagneten und den Verbindungsdraht *D* nach der zweiten Feder und zum Cylinder zurück. In Folge dieses Stromes wird der Magnetismus des Elektromagneten verstärkt und damit auch im Cylinder ein stärkerer Strom erzeugt. Dieser stärkere Strom legt nun denselben Weg zurück. Der Magnetismus in dem Elektromagnet wird von neuem verstärkt, und damit im Cylinder ein noch stärkerer Strom erzeugt. Man sieht leicht ein, dass diese wechselseitige Verstärkung zwischen Magnetismus und Strom in das Unendliche sich fortsetzen müsste, wenn der Elektromagnet seinen Magnetismus bis ins Unendliche zu steigern vermöchte. Das ist aber nicht der Fall. Das Eisen kann nur bis zu einer gewissen Grenze magnetisirt werden, und daher entsteht bei fortgesetztem Drehen ein Strom, welcher dem Maximum des Magnetismus im Elektromagneten entspricht.

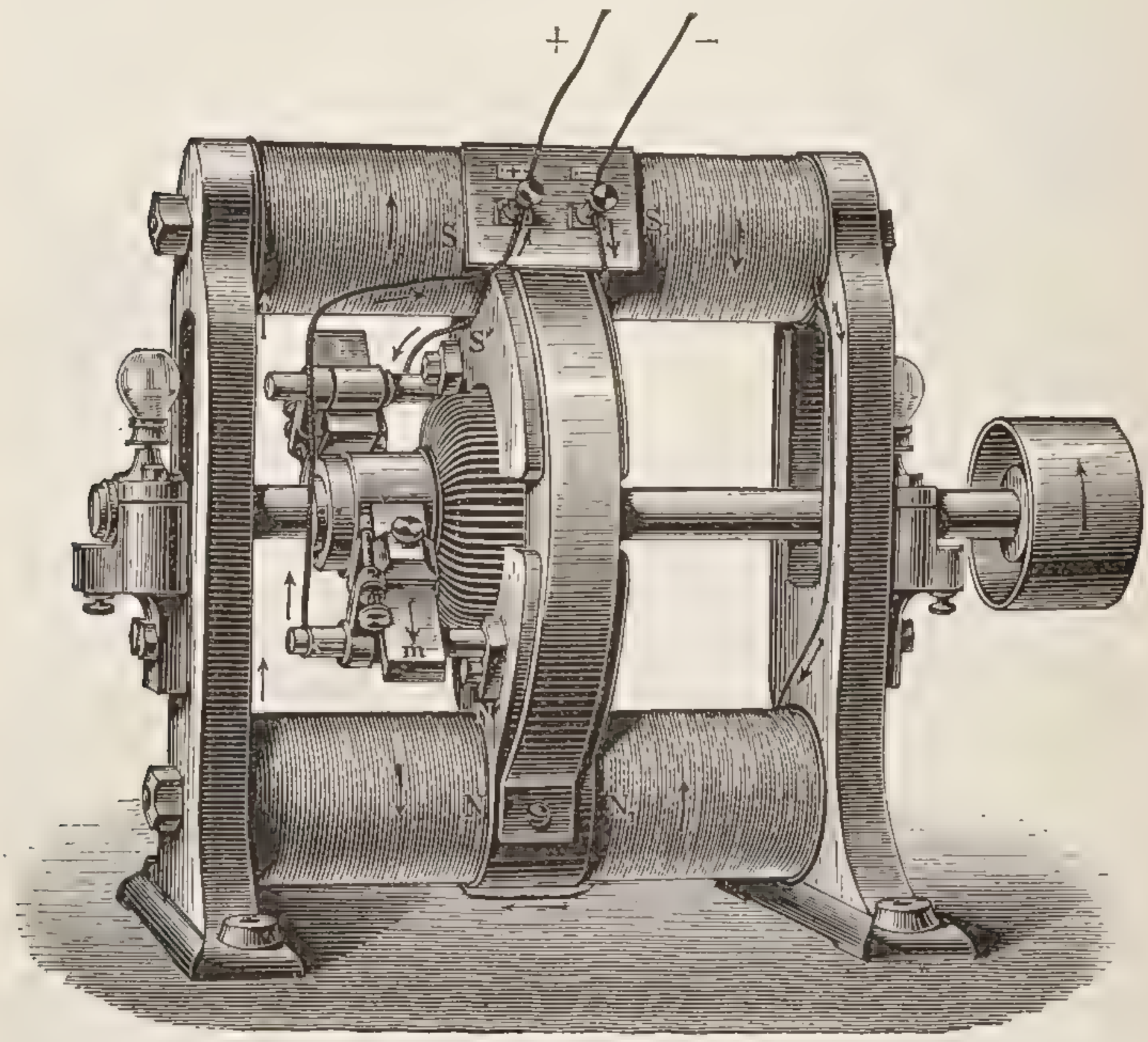
Siemens, Wheatstone, Ladd und Andere erbauten nach diesem Princip Maschinen; die Zeit gestattet nicht, auf sie näher einzugehen. Wir wollen vielmehr gleich die vollkommeneren Maschinen betrachten, bei welchen beide neue Principien, der Pacinotti'sche Ring und das Dynamoprincip, gleichzeitig zur Anwendung kommen.

Es ist das Verdienst von Gramme, zuerst beide Principien in einer Maschine, der Gramme'schen Dynamomaschine, vereinigt zur Anwendung gebracht zu haben, welche noch heute zu den verbreitetsten Maschinen gehört. Hier sehen Sie dieselbe in Abbildung, Fig. 58*) a. f. S. Zu beiden Seiten des Pacinotti'schen Ringes sind oben und unten zwei Elektromagnete angebracht, deren obere Schenkel dem Ringe die Südpole, deren untere dem Ringe die Nordpole zuwenden. Bei Drehung der Maschine tritt der Strom aus dem mit dem + Zeichen bezeichneten Drahtende aus der Maschine in den äusseren Verbindungsdraht ein, strömt sodann durch den mit dem — Zeichen bezeichneten Drahtende

*) Die Maschine wurde durch Projection dargestellt.

in die Maschine ein, durchläuft sodann die Elektromagnete auf der rechten und linken Seite, tritt durch die Schleiffeder *n* in den Pacinotti'schen Ring, um bei der Schleiffeder *m* wieder zum Vorschein zu kommen, und von da zu der mit dem + Zeichen bezeichneten Klemme überzugehen. Die Maschine unterscheidet sich von der früher betrachteten magnetelektrischen Maschine von Gramme nur dadurch, dass an die Stelle gewöhnlicher

Fig. 58.




Magnetpole die viel stärkeren Pole von Elektromagneten gesetzt sind, welche von dem Strom der Maschine selbst durchflossen werden.

Eine solche Maschine, wie sie hier abgebildet ist, ist in Wirklichkeit 60 cm hoch, 35 cm breit, 65 cm lang und wiegt 180 kg. Die Windungen des Elektromagneten bestehen aus 28 kg Kupferdraht, diejenigen des Pacinotti'schen Ringes aus 4,5 kg. Ausserdem macht der Ring 1000 bis 1500 Umdrehungen pro

Minute. Zu ihrem Betriebe fordert die Maschine einen Motor von mehreren Pferdekräften.

Hier habe ich eine kleine Gramme'sche Dynamomaschine aufgestellt. Wir wollen dieselbe durch Handbetrieb in Thätigkeit setzen und damit elektrisches Licht erzeugen. Zu andauernden und stärkeren Wirkungen bedarf selbst diese kleine Maschine einen besonderen Motor.

Ebenso wie Gramme seine magnetelektrische Maschine durch Anwendung des Dynamoprincipes in eine Dynamomaschine umwandelte, verfuhr auch v. Hefner-Alteneck mit seiner Trommelmaschine. Hier sehen Sie dieselbe in Abbildung Fig. 59 *) a. f. S. Durch die oben und unten angebrachten Elektromagnete werden auf der vorderen und hinteren Seite der Maschine vier Eisenlamellen in magnetischen Zustand versetzt und zwar bilden sich vorn Nordpole, hinten Südpole, zwischen denen der Cylinder rotirt. Eine solche Maschine ist im Souterrain in Thätigkeit, sie liefert das elektrische Licht zur Herstellung dieser optischen Bilder. Zu ihrem Betriebe ist ein Motor von zwei bis drei Pferdekräften erforderlich und ihr Cylinder macht 900 Umdrehungen in der Minute.

Die Dynamomaschinen von Gramme und von v. Hefner-Alteneck unterscheiden sich durch die Anordnung der Drahtwindungen auf dem rotirenden Theil der Maschine, dem sogenannten Anker. Eine dritte Art der Bewickelung des Ankers ist von dem Amerikaner Brush angegeben, welche zur Construction der Brush-Maschinen geführt hat. Auf die complicirte Einrichtung dieser Maschine einzugehen, ist hier nicht der Ort. Nur sei erwähnt, dass die Maschine Ströme von so hoher Spannung hervorruft, dass, wenn dieselben durch den Körper hindurchgehen, den Tod zur Folge haben. Das System Brush ist dessen ungeachtet eines der verbreitetsten.

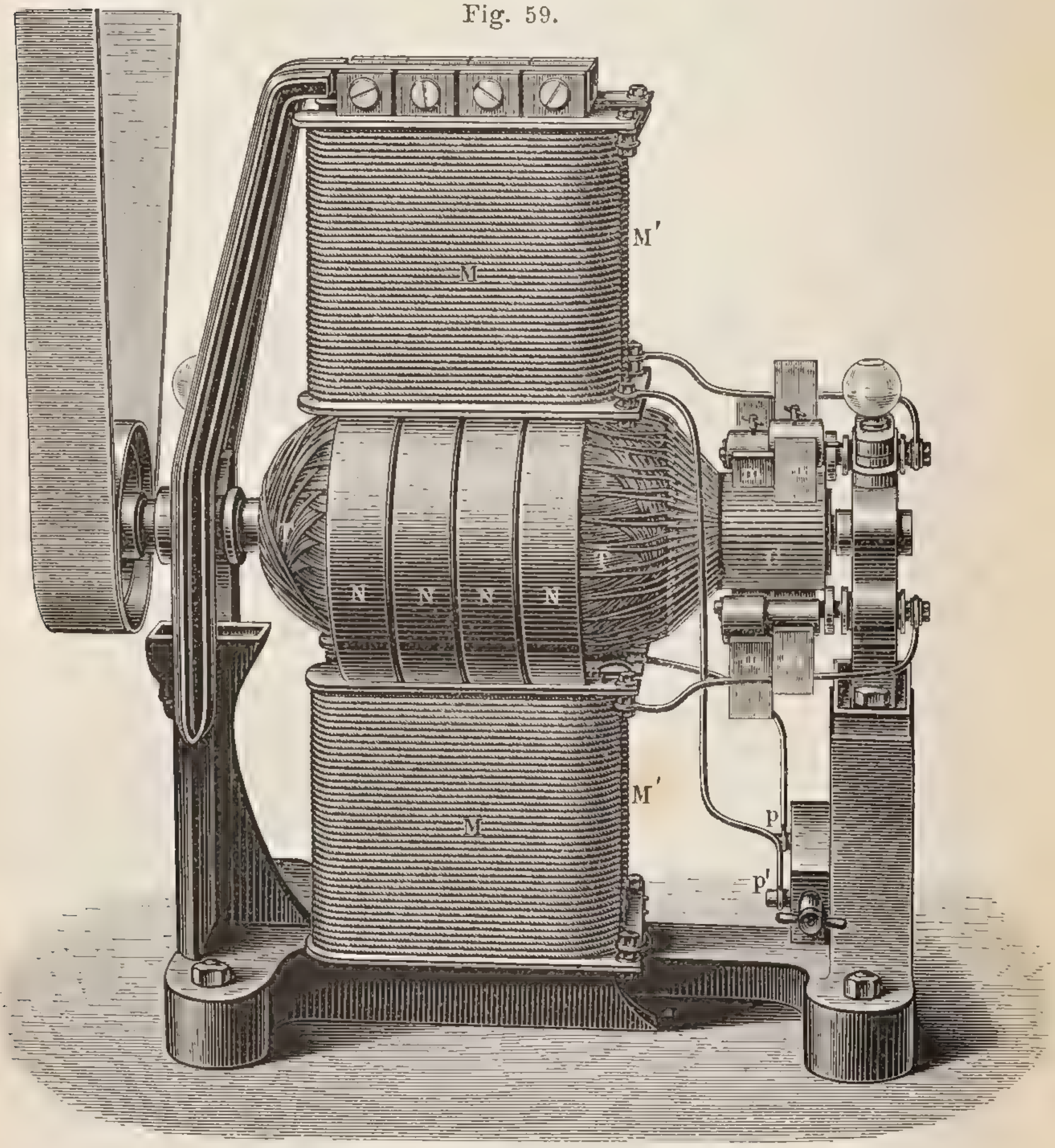
Von den zwei ersten der betrachteten Grundtypen der Dynamomaschinen Gramme, v. Hefner-Alteneck und Brush sind im Laufe der Zeit eine grosse Zahl von Abarten construirt worden, durch welche die Maschinen mehr oder weniger den besonderen Zwecken, denen sie dienen sollen, z. B. Bogenlicht,

---

*) Die Maschine wurde durch Projection dargestellt.

Glühlicht, Galvanoplastik, Kraftübertragung, angepasst werden. Die richtigsten Unterschiede sind in der Art und Weise begründet, auf welche die Elektromagnete erregt werden. So hat

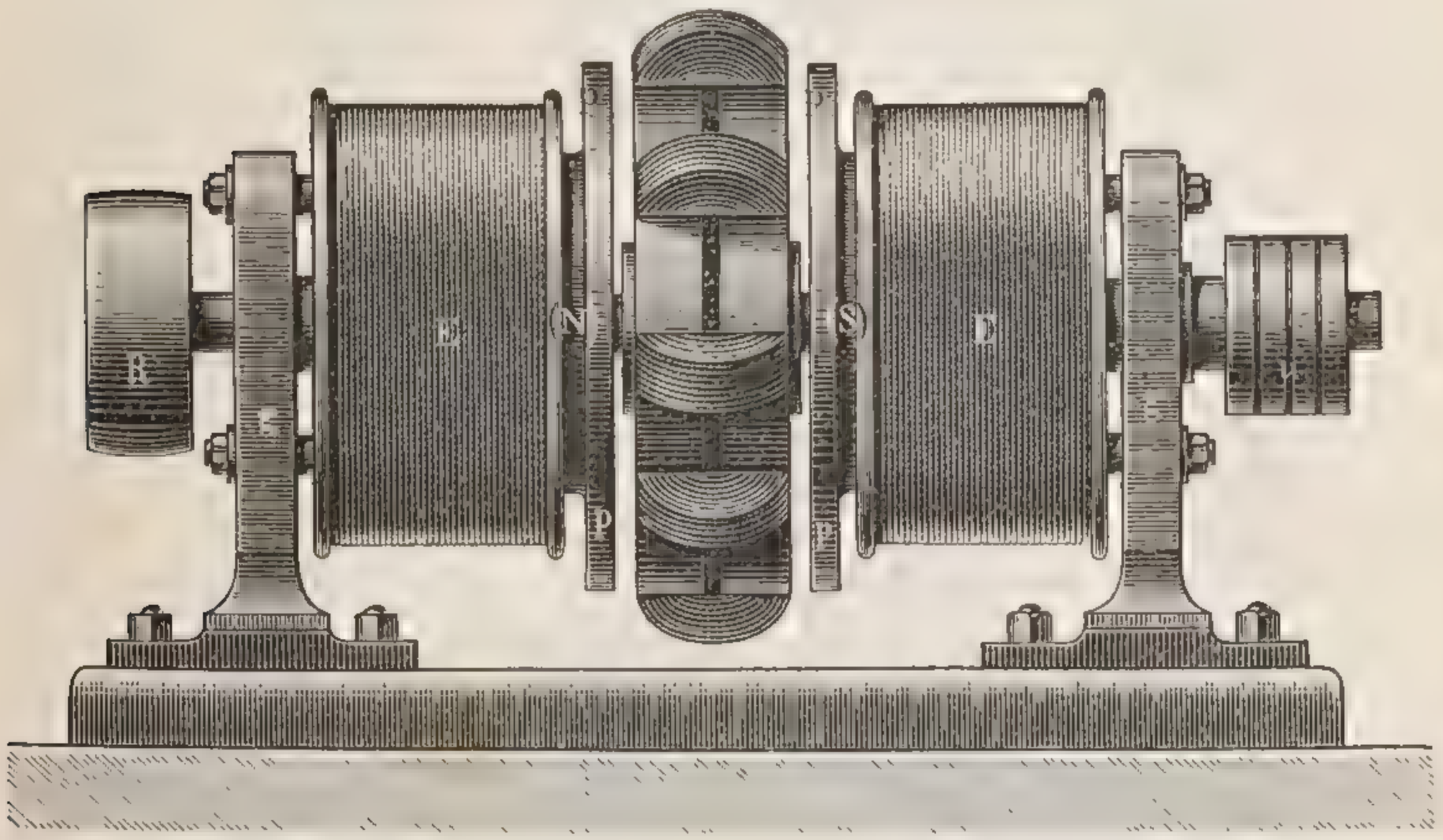
Fig. 59.




man Maschinen gebaut, bei denen nicht der ganze im Anker erzeugte Strom den Elektromagneten zugeführt wird, sondern nur ein Zweigstrom, sie heissen Shunt-Maschinen. Bei anderen

Maschinen wieder führt man um die Elektromagnete nicht allein den Hauptstrom, sondern zugleich noch einen Nebenstrom, sie heissen Compound-Maschinen. Viele Maschinen unterscheiden sich ferner durch die besondere Form einzelner Theile, hierher gehören die Flachring-Maschinen von Schuckert und diejenigen von Fein und Jürgens, welche Abkömmlinge der Gramme'schen Maschinen bilden. Abkömmlinge der v. Hefner-Alteneck'schen Trommelmaschine sind dagegen die Maschinen von Weston und Edison. Ich muss mich begnügen, Ihnen von dieser grossen Zahl von Maschinen nur noch zwei in Ab-

Fig. 60.




bildung vorzuführen. 1) Die Maschine von Brush, Fig. 60*), und 2) die Maschine von Edison, Fig. 61, a. f. S.

Von den Strommaschinen wenden wir uns jetzt der zweiten Klasse, den Arbeitsmaschinen zu. In Folge einer wichtigen Bemerkung können wir uns viel kürzer mit ihnen befassen, nämlich der Bemerkung, dass alle Strommaschinen, welche gleichgerichtete Ströme liefern, umkehrbare Maschinen, d. h. solche Maschinen sind, welche, wenn sie gedreht werden, einen galvanischen Strom erzeugen, wenn sie umgekehrt von einem

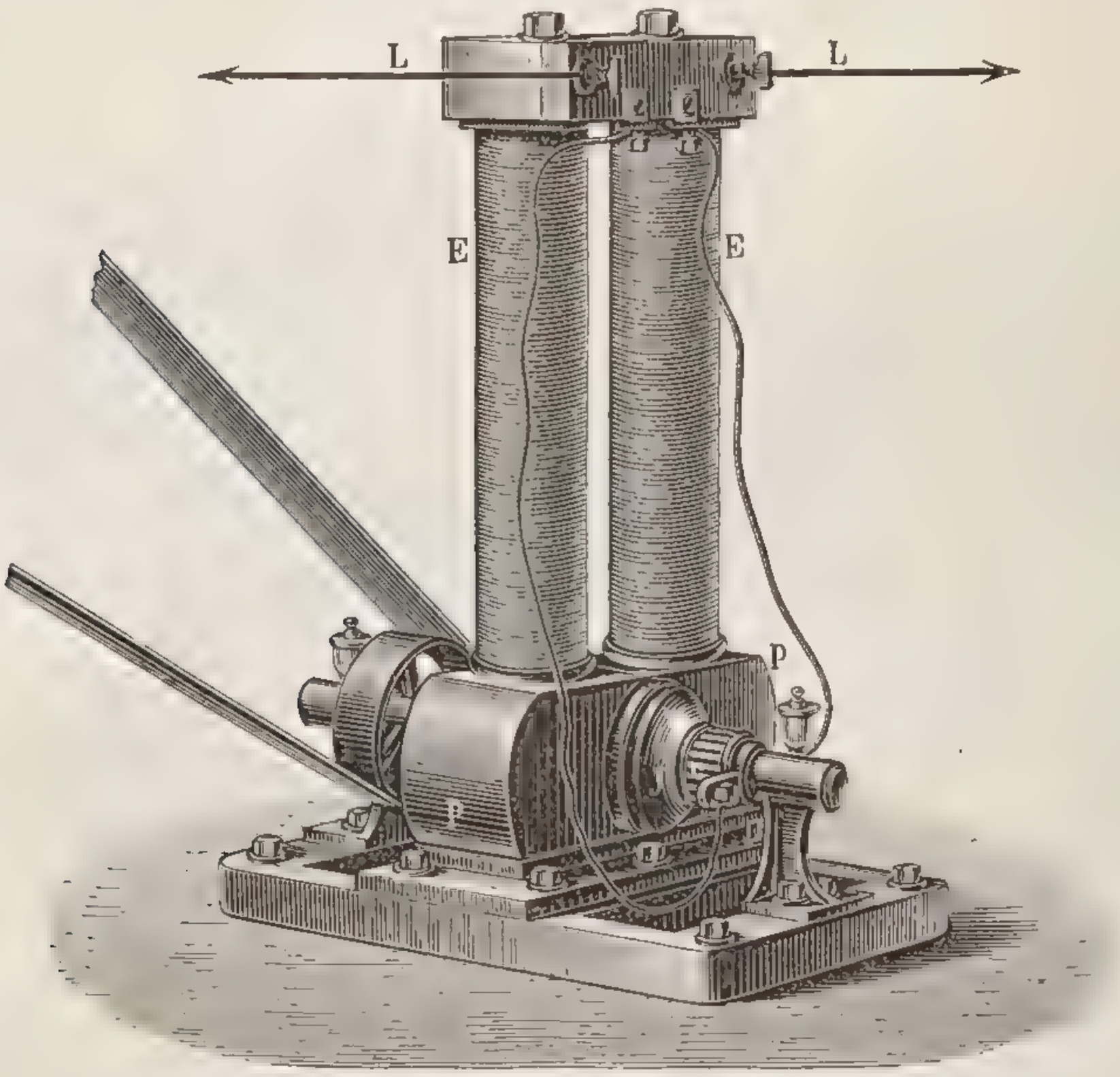
*) Beide Maschinen wurden durch Projection dargestellt.

Strom durchflossen werden, sich in Drehung versetzen. Es zeigt sich dabei, dass die beste Strommaschine zugleich auch immer die beste Arbeitsmaschine ist.

Hier haben wir z. B. die Hefner-Alteneck'sche Trommelmaschine, wir schicken durch sie den galvanischen Strom einiger Elemente, und Sie sehen, dass sie dadurch in rasche Rotation versetzt wird.

Diese einfache Bemerkung hat alle Arbeitsmaschinen, welche in physikalischen Apparatensammlungen unter dem Namen elek-

Fig. 61.




tromagnetische Maschinen zu finden sind, ausser Cours gesetzt. Betrachten wir nur zwei der besseren dieser Maschinen. Die hier vorstehende kleine elektromagnetische Maschine, Fig. 62, rührt von Stöhrer her. Sie besteht aus einem kleinen Elektromagneten, der sich innerhalb eines Multiplicators dreht. Lässt man einen Strom durch den Multiplicator und durch den Elektromagneten gehen, so beginnnt der letztere sich in Folge der gegenseitigen Einwirkungen zu drehen. Ein Commutator sorgt

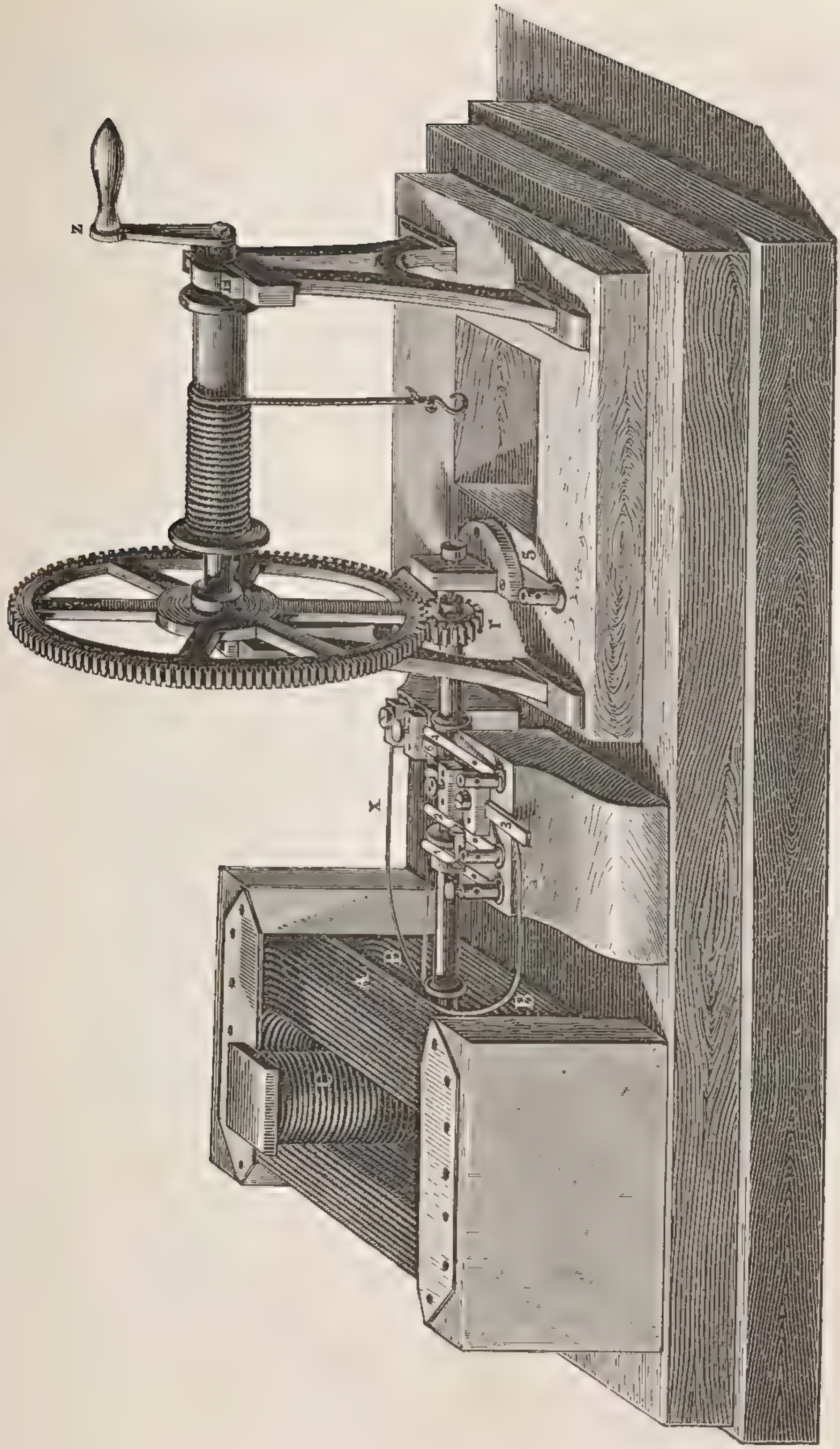



Fig. 62.

dafür, dass die Drehung eine dauernde wird. Die Maschine treibt ein kleines Rad.

Eine andere Maschine beruht auf einem vortheilhafteren Princip. Hängen wir eine Drahtrolle an zwei Drähten auf, von denen der eine den Strom der Rolle zu, der andere von der Rolle fort führt und bringen in die Höhlung der Rolle einen Eisenstab, so wird derselbe, wie wir in dem ersten Vortrag sahen, zunächst in einen Magnet verwandelt. Die Rolle übt aber ferner auf den nun magnetischen Eisenstab solche Kräfte aus, durch welche derselbe in die Höhlung der Rolle hineingetrieben wird, bis seine Mitte mit der Mitte der Rolle zusammenfällt. Diese gewissermaassen einsaugende Kraft der Rolle kann das Gewicht des Eisenstabes übersteigen, und alsdann muss der Stab in freier Luft schweben bleiben. In der That findet dies hier statt.

Wird der Strom auf einen Augenblick unterbrochen, so übt die Rolle keine Kraft auf den Eisenstab mehr aus, er fällt in Folge seines Gewichtes herab. Schliessen wir wieder den Strom, so hebt sich der Stab von selbst. Wir können also den Stab durch wiederholtes Schliessen und Oeffnen des Stromes sich so oft hin- und herbewegen lassen, wie wir wollen.

Auf diesem Principe beruht die elektromagnetische Maschine von dem Amerikaner Page, die sie hier, Fig. 63, in Abbildung sehen*). In grossen Dimensionen ausgeführt, kann sie recht gut eine oder gar mehrere Pferdekräfte besitzen. In den Höhlungen zweier Rollen bewegen sich zwei Eisenkerne auf und nieder, welche mit einem Balancier und durch diesen mit einem Schwungrade verbunden sind. Lässt man in die Rollen abwechselnd einen galvanischen Strom eintreten, so werden die Eisenkerne abwechselnd gesenkt und gehoben und das Schwungrad dreht sich. Die abwechselnde Zuführung des Stromes zu den beiden Rollen besorgt die Maschine selbst mittelst eines Commutators.

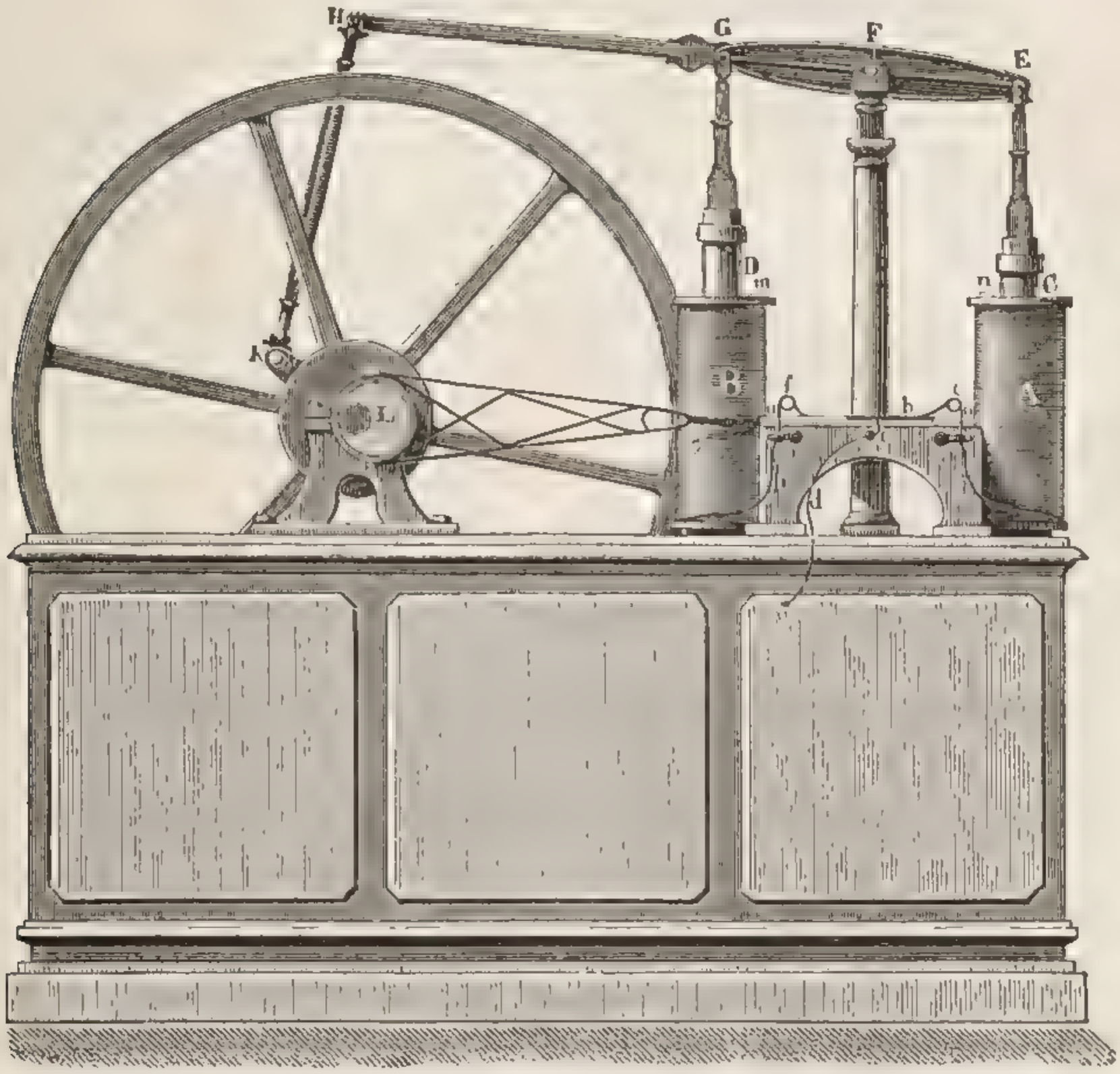
So anerkennungswerth die Leistung der zuletzt betrachteten Maschine ist, so steht sie doch ihrem praktischen Werthe nach weit hinter den Dynamomaschinen, wenn sie als Arbeitsmaschinen benutzt werden, zurück, so dass man heute für praktische Anwendungen nur von den Dynamomaschinen Gebrauch macht.

---

*) Die Maschine wurde durch Projection dargestellt.

Die wichtigste Anwendung der elektrischen Maschinen ist ohne Zweifel diejenige zur Kraftübertragung. Die Natur stellt der Menscheit eine grosse Anzahl von Kraftreservoiren zur Disposition, wie hochgelegene Wasserbecken, Gebirgsbäche, Wasserströme, Kohlenlager, den Wind, die von der Sonne der Erde zugestrahlte Wärme u. s. f., welche theils gar nicht, theils nur sehr unvollkommen zur Arbeitsleistung verwerthet werden. Abgesehen, dass einige von ihnen von wechselnder Beschaffenheit sind,

Fig. 63.




wie der Wind, die Sonnenwärme, findet die geringe Ausnutzung ihre Erklärung in dem Umstand, dass die meisten unserer Fabrikanlagen, die unmittelbare Nähe jener Kraftreservoire fordern. Die Fabriken in unmittelbarer Nähe von Gebirgsbächen, von Strömen, von Kohlenlagern anzulegen, ist gewiss rationell, aber nicht immer ausführbar. Die elektrische Kraftübertragung, wenn es gelingt sie rentabel zu machen, ist dazu berufen, ein grosses Bedürfniss nicht bloss für Verhältnisse im Grossen, sondern

ebenso im Kleinen auszufüllen. Um ein Beispiel anzuführen, brauchen wir nicht in die Ferne zu greifen. Gesetzt, es solle hier in der Aula irgend eine Maschine, welche mehrere Pferdekräfte zu ihrem Betriebe bedarf, in Gang gesetzt werden. Die im Souterrain aufgestellte Dampfmaschine würde hierzu nicht unmittelbar benutzt werden können, weil eine Transmissionsanlage auf solche Entfernung schwer ausführbar wäre. Wir können aber leicht im Souterrain eine Strommaschine aufstellen und sie durch die Dampfmaschine drehen lassen, den durch sie erzeugten Strom übertragen wir durch Leitungsdrähte auf eine zweite Maschine, z. B. auf die hier vorstehende Gramme-Maschine, und können nun durch sie eine beliebige andere Maschine, um deren Betrieb es sich handelt, treiben*). Die Vortheile einer solchen elektrischen Kraftübertragung sind unmittelbar einleuchtend, aber ihre Rentabilität wird durch die Thatsache beträchtlich herabgedrückt, dass bei der Fortpflanzung des Stromes durch Leitungen stets ein Kraftverlust eintritt. Man hat zwar Mittel, diesen Kraftverlust auf ein Minimum zu beschränken, z. B. dadurch, dass man die Leitungen aus dicken Kupferbarren herstellt. Bei der jüngst eingeführten elektrischen Beleuchtung des Schauspielhauses in Berlin z. B., welche von einer, mehrere Minuten weit abgelegenen elektrischen Station aus betrieben wird, ist man so weit gegangen, Kupferstränge von fast Armdicke anzuwenden. Solche Anlagen, namentlich bei grossen Entfernungen, sind zu kostbar. Ein anderes Mittel, den Kraftverlust zu verringern, ist in der Anwendung von Strömen von hoher Spannung gegeben. Allein sie macht eine um so sorgsamere Isolirung nöthig und hat auch ausserdem noch andere Nachtheile im Gefolge. Die elektrische Kraftübertragung für grössere Entfernungen rentabel zu machen, ist eine der Hauptaufgaben der Jetztzeit. Umfangreiche Versuche sind bereits zur Ausführung gebracht, z. B. diejenigen bei Gelegenheit der elektrischen Ausstellung zu München, wo Wasserkraft von dem 5 km entfernten Miesbach durch den galvanischen Strom nach München übertragen wurde.

Muss auch die elektrische Kraftübertragung im grossen Ganzen noch als eine offene Frage betrachtet werden, so gilt

---

*) Der Versuch wurde ausgeführt.

dies nicht mehr in speciellen Fällen, wo die Dampfkraft sich nicht unmittelbar anwenden lässt, oder ihre Anwendung doch mit Nachtheilen verknüpft ist. In dem grossen Etablissement à la belle jardinière in Paris werden in den obersten Stockwerken eine grosse Zahl von Nähmaschinen mit Vortheil durch elektrische Kraftübertragung getrieben. Die Localitäten gestatteten eine andere Art der Kraftübertragung nicht. Wie leicht eine solche elektrische Kraftübertragung herzustellen ist, zeigt folgender Versuch. Ich habe zwei Trommelmaschinen mit einander und die eine mit einer Nähmaschine verbunden. Drehen wir die eine, die Strommaschine, so setzt sich die andere, die Arbeitsmaschine in Bewegung und treibt die Nähmaschine.

Unter den täglich sich mehrenden Anwendungen der elektrischen Kraftübertragung sei ferner noch der elektrische Aufzug von Siemens erwähnt, der vor den üblichen gewisse Vorzüge besitzt. Eine mit Zahnrad versehene Dynamomaschine klettert zwischen Zahnstangen empor oder herab, und hebt oder senkt damit den Fahrstuhl. Die hervorragendste Anwendung bildet jedoch bis jetzt die elektrische Eisenbahn von Siemens, wie solche zwischen Berlin und Lichterfelde, in Irland, in Kohlengruben sich ausgeführt finden. Vortheile werden erreicht durch Ersparniss an Kohlen, die in der Anwendung einer festliegenden Dampfmaschine, gegenüber einer beweglichen, ihren Grund hat, ferner dadurch, dass die gebräuchliche Locomotive von ungeheurem Gewichte durch einen viel leichteren Wagen ersetzt wird, dass bei grossen Steigungen jeder einzelne Wagen sich leicht als selbstthätige Locomotive einrichten lässt, wodurch die Reibung bedeutend erhöht wird, dass bei Durchfahrten durch längere Tunnel oder in Bergwerken der lästige Rauch fortfällt u. s. f.

Die Einrichtung der elektrischen Eisenbahn ist leicht zu verstehen. Wir bringen auf einem Wagen, der auf Schienen läuft, eine Dynamomaschine an, deren Anker seine Umdrehungen auf die Räder des Wagens überträgt. Der Dynamomaschine wird ein galvanischer Strom von der Endstation aus durch das eine Geleis zugeführt, während das andere zur Rückleitung dient. Der besseren Isolation wegen hat Siemens neuerdings die Zuleitung des Stromes zur Dynamomaschine durch eine besondere, über Telegraphenstangen geführte Drahtleitung vermittelt.

Ich habe hier eine solche elektrische Eisenbahn im Kleinen aufgestellt, sie sowohl wie die kleine auf dem Wagen befindliche Dynamomaschine wurde in der physikalischen Werkstätte durch Herrn Dr. Kämpfer und dem Mechaniker Müller hergestellt. Wir setzen die beiden Geleise mit einem Stromkreise in Verbindung, und sie sehen den Erfolg.

Wir sind hiermit zum Schluss des heutigen Vortrages angelangt; derselbe endigt auf dem Arbeitsfelde der heutigen Elektrotechnik. Möchten die nächsten Jahre weitere Fortschritte zu verzeichnen haben und die heute noch immer in den Kinderschuhen befindliche Elektrotechnik dem Mannesalter zuführen!

# Vierter Vortrag.

## Galvanoplastik und elektrisches Licht.

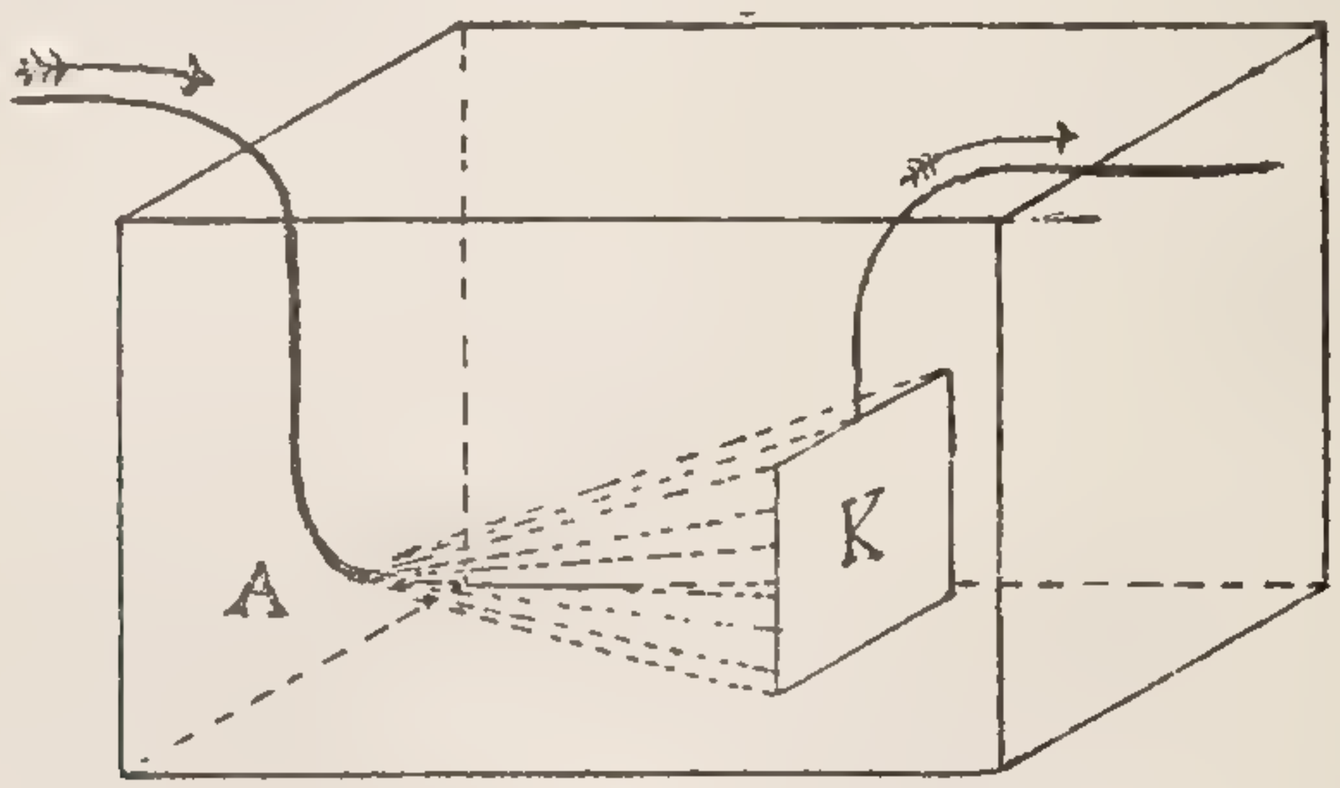
---

Es giebt keine Umstände, welche mehr geeignet sind, uns das Walten und Wirken der Naturkräfte erkennen zu lassen, als grosse Naturereignisse. Wer ein Erdbeben, den Ausbruch eines Vulcans, wer einen Sturm auf dem Meere erlebt hat, der hat sicher Eindrücke in sich aufgenommen, die seinem Gedächtnisse nicht wieder entschwinden werden; Eindrücke, die ihm die Ohnmacht aller menschlichen Kraft und die Gewalt der Naturkräfte zugleich vor Augen führen. Aber nicht bloss im Grossen zeigt sich die Natur in ihrem Wirken, auch im Kleinen, im Verborgenen. In Mitten einer Tropfsteinhöhle, wo von der Decke die Stalaktiten herabhängen, mahnen uns die eintönig herabfallenden Tropfen an die tausendjährige Arbeit, die sich den Blicken in den absonderlichsten Formen darbietet. Ein solches stilles Wirken der Naturkräfte tritt uns ebenso tausendfältig im täglichen Leben entgegen, wenn auch weniger geheimnissvoll, theils weil uns die Gewohnheit die Erscheinungen als selbstverständlich erscheinen lässt, theils weil es der Naturforschung gelungen ist, Gesetz und Regel, nach denen sie vor sich gehen, aufzufinden. Aber wird die Grossartigkeit der Natur dadurch herabgedrückt, dass wir überall, so weit die Forschungen reichen, alle Veränderungen in der Natur nach Gesetz und Regel vor sich gehen sehen? Gewiss nicht! Eine nach Willkür oder Zufall, wenn man einen solchen überhaupt zulassen will, arbeitende Natur würde mit der Vernichtung der Naturforschung gleichbedeutend sein, deren vornehmste Aufgabe es ist, die Gesetze und die Ordnung, welche

der Natur aufgeprägt sind, mehr und mehr zur Klarheit zu bringen.

Zu jenen im Verborgenen, aber nach bekannten Gesetzen vor sich gehenden Wirkungen gehören auch diejenigen des galvanischen Stromes, welche wir heute zunächst betrachten wollen, deren praktischer Nutzen sich in der Galvanoplastik kund giebt. In einem der vorhergehenden Vorträge haben wir gesehen, dass ein Strom, der durch Wasser hindurchgeht, das Wasser in seine Bestandtheile, Sauerstoff und Wasserstoff, zerlegt, und zwar sammelte sich der Sauerstoff an der Stelle an, an welcher der Strom aus der Leitung in das Wasser überging, an der sogenannten Anode, während sich der Wasserstoff an der Stelle entwickelte, wo der Strom aus dem Wasser in die Leitung eintrat,

Fig. 64.




an der Kathode. Ein ganz entsprechender Vorgang findet beim Durchgange des Stromes durch jede chemisch zusammengesetzte Flüssigkeit statt, welche den Strom leitet. Wir wollen uns sogleich an diejenige Flüssigkeit halten, welche für den Galvanoplastiker eine der wichtigsten ist, an die Kupfervitriollösung. Andere Metallsalzlösuugen, wie Gold- oder Silberlösungen, Nickelbäder u. s. w. zeigen ein gans analoges Verhalten.

Sie sehen hier eine Glasschale mit Kupfervitriollösung aufgestellt, welche sich durch ihre intensiv blaue Farbe kenntlich macht. Tauchen wir einen Platindraht und ihm gegenüber ein Platinblech in die Lösung ein, so wie dies in Fig. 64 dargestellt ist, und lassen durch den Platindraht einen Strom ein-, durch das Platinblech den Strom austreten, so bildet der Draht die Anode *A*,

das Platinblech die Kathode *K*. Wenige Minuten genügen, um das Wirken des Stromes sichtbar zu machen. Ziehen wir das Platinblech aus der Flüssigkeit, so zeigt sich jetzt, dass das Blech, welches vorher eine silberweisse, blanke Oberfläche besass, mit einem hellrothen Ueberzuge versehen ist. Eine chemische Analyse zeigt, dass wir es mit chemisch reinem Kupfer zu thun haben, welches sich in ungeheuer fein vertheiltem Zustande über die ganze Platinplatte ausgebreitet hat.

Aber auch an der Anode, dem Platindrahte, vollzieht sich ein eigenthümlicher Process. Während der Strom die Flüssigkeit durchläuft, steigen an demselben kleine Bläschen auf, welche Sauerstoff enthalten, und zugleich verändert sich die Beschaffenheit der Kupfervitriollösung in der Umgebung des Drahtes durch das Auftreten von concentrirter Schwefelsäure. Durch den galvanischen Strom wurde folglich an der Kathode reines Kupfer, an der Anode dagegen Sauerstoff und Schwefelsäure ausgeschieden, und da der Kupfervitriol eine Verbindung von Kupfer mit Sauerstoff und Schwefelsäure ist, so erkennen wir in diesem Vorgange die zersetzende Wirkung des galvanischen Stromes.

Ein für die Galvanoplastik äusserst wichtiger Umstand ist es, dass bei diesem Vorgange das ausgeschiedene Kupfer die Platinplatte in äusserst fein vertheiltem Zustande überzieht. Der Grund hierfür ist nicht allzu schwer einzusehen. Der galvanische Strom theilt sich bei seinem Austritte aus der metallischen Leitung bei *A* in unendlich viele Theilströme, welche sämmtlich nach der Platinplatte *K* hinströmen. Die Zertheilung des Stromes ist dabei so gross, dass an jeder Stelle der Platinplatte einer der unendlich vielen Theilströme eintrifft. Jeder dieser Theilströme setzt nun bei seinem Eintritt in die Platte ein unendlich kleines Kupferpartikelchen ab, und folglich muss sich die ganze Platte mit Kupfer überziehen. Aber eine Bedingung muss, um diesen Erfolg zu erzielen, doch erfüllt sein. Wäre die Platte an irgend einer Stelle mit einer nicht leitenden Substanz, z. B. Fett, Metalloxyd u. s. f., behaftet, so würde an dieser Stelle keiner der Theilströme einmünden können, es würde sich alsdann dort auch kein Kupfer absetzen, und der Kupferüberzug der Platte erhielte folglich an dieser Stelle ein Loch. Die Platte oder allgemein der Gegenstand, den man an Stelle der Platinplatte in den Apparat

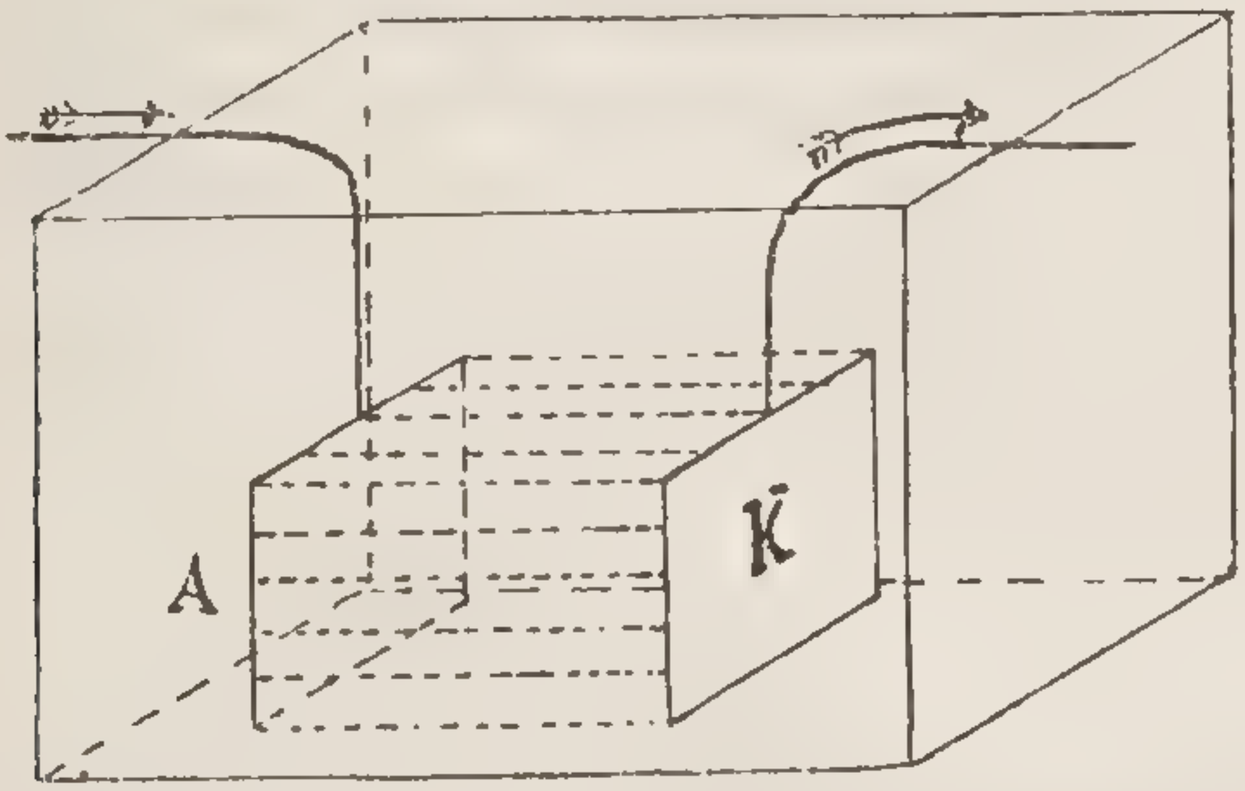
einhängt, an dessen Oberfläche sich der metallische Ueberzug bilden soll, muss daher völlig metallisch rein, d. h. leitend gemacht werden. Diese zum Gelingen jedes galvanoplastischen Niederschlages wichtige Regel ist den Galvanoplastikern wohl bekannt, und das Reinigen der Gegenstände oder das Decapiren, wie der technische Ausdruck hierfür lautet, bildet eine der Hauptarbeiten in der Galvanoplastik. So sorgsam muss diese Arbeit ausgeführt werden, dass jede Berührung des Gegenstandes mit den Fingern dabei verhütet werden muss.

Der Ueberzug, den wir hier hergestellt haben, hat die Dicke eines Hauches. Aber nichts steht im Wege, denselben einen Millimeter, oder, wenn man will, einen Centimeter dick zu machen. Wir brauchen nur den Strom anstatt Minuten lang, Tage und Wochen lang durch den Apparat hindurchgehen zu lassen. Dabei würden wir aber eine, für viele Anwendungen störende Entdeckung machen, dass bei der Einrichtung des Apparates, wie er in Fig. 64 dargestellt ist, die Dicke der niedergeschlagenen Kupferschicht sehr ungleich ausfällt. Es würde sich zeigen, dass in der Mitte der Platinplatte, welche der Drahtspitze *A* am nächsten gegenübersteht, ungleich viel mehr Kupfer niedergeschlagen wird als an den Rändern. Einen solchen ungleichmässigen Ueberzug muss aber der Galvanoplastiker vermeiden. Die von der Anode *A* nach den Rändern der Platte laufenden Ströme haben, wie sich dies schon aus der Zeichnung ergiebt, viel längere Wege zu durchlaufen, als die in der Mitte eintreffenden. Je länger aber der Weg ist, den ein Theilstrom zu durchlaufen hat, einen desto grösseren Widerstand muss er überwinden und um so kleiner ist seine Intensität, mit der er an der Platte eintrifft. Die Kupfermenge, welche ein solcher Theilstrom an seiner Einmündungsstelle absetzt, hängt aber von seiner Intensität ab, und zwar wird bei doppelter Intensität die doppelte, bei dreifacher Intensität die dreifache Kupfermenge ausgeschieden. Die an den Rändern eintreffenden, viel weniger intensiven Theilströme müssen folglich viel weniger Kupfer absetzen, als die in der Mitte eintreffenden.

Diesem Uebelstande ist leicht Abhülfe zu schaffen. Nehmen wir als Anode nicht einen Platindraht, sondern, wie Fig. 65 andeutet, eine Platinplatte, welche gleich gross, besser noch

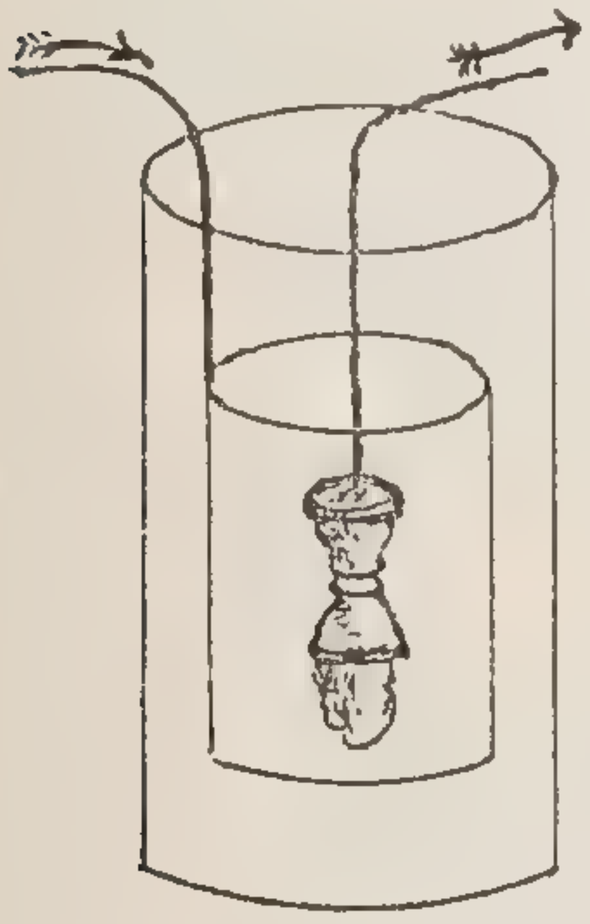
etwas grösser als die Kathodenplatte ist, und tauchen sie parallel zu der letzteren in die Flüssigkeit ein, so haben alle Theilströme gleich lange Wege zu durchlaufen, und der Ueberzug erhält an jeder Stelle dieselbe Dicke. Um einen möglichst

Fig. 65.




gleich dicken Ueberzug zu erhalten, muss man bei galvanoplastischen Arbeiten, je nach der Form des zu überziehenden Gegenstandes, verschiedene Einrichtungen treffen, die aber immer darauf abzielen, den Theilströmen gleiche Intensität zu geben. Wäre der zu überziehende Gegenstand nicht plattenförmig, sondern mehr cylindrisch, wie z. B. eine kleine Büste, so würde man Fig. 66 der Anode die Form eines Cylinders geben, welcher die Büste umschliesst. In Fällen, wo eine dem ähnliche Anordnung nicht möglich ist, hilft man sich dadurch, dass man dem zu überziehenden Gegenstande

Fig. 66.



von Zeit zu Zeit gegen die Anodenplatte verschiedene Stellungen giebt.

Die bisher betrachtete Vorrichtung ist nichts Anderes als ein galvanoplastischer Apparat, doch muss man mit ihm, um ihn wirklich tauglich zu machen, noch eine wichtige Abänderung vornehmen. Bei dem Durchgange des Stromes durch den Apparat Fig. 65 scheidet sich an der Anodenplatte fortwährend Sauer-

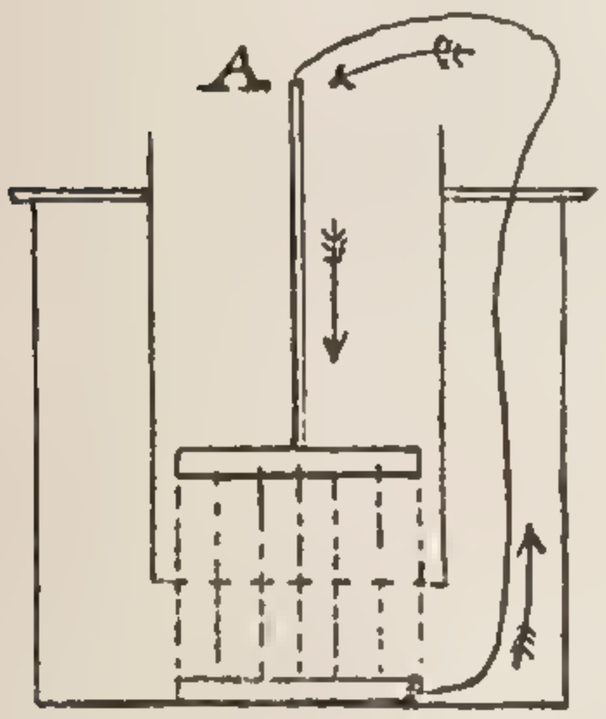
stoff und Schwefelsäure aus, an der Kathodenplatte dagegen Kupfer. Es wird demnach mit der Zeit die Kupfervitriollösung an Kupfer immer ärmer, an Schwefelsäure immer reicher werden. Da nun die Veränderung in der Zusammensetzung der Lösung erfahrungsmässig für die Güte des galvanoplastischen Niederschlages nachtheilig ist, muss man dafür Sorge tragen, die Lösung in derselben Concentration zu erhalten, und dies erreicht man am einfachsten dadurch, dass man als Anodenplatte *A* nicht eine Platin-, sondern eine Kupferplatte anwendet. Die an der Anodenplatte ausgeschiedenen Bestandtheile, die Schwefelsäure und der Sauerstoff, verbinden sich alsdann sofort wieder mit dem Kupfer der Kupferanode zu Kupfervitriol, welcher in Lösung geht, und die Lösung bleibt gänzlich ungeändert. Durch den an der Kupferanode vor sich gehenden chemischen Process wird genau dieselbe Kupfermenge von der Anode aufgelöst, welche in derselben Zeit an der Kathode niedergeschlagen wird, und folglich besteht der Gesammteffect des Stromes beim Durchgange durch den Apparat lediglich darin, dass durch ihn dauernd Kupfer von der Anode *A* nach der Kathode *K* übergeführt wird. Aehnlich verhält es sich mit anderen Lösungen. Will man vergolden, versilbern, vernickeln, so taucht man eine Goldplatte, eine Silberplatte, eine Nickelplatte in die Gold-, Silber- oder Nickellösung als Anode ein und erhält in jedem Falle die Lösung in unverändertem Zustande.

Zum Betriebe dieser Art von galvanoplastischen Apparaten bedarf man eines galvanischen Stromes, den man dadurch erhält, dass man bei kleineren Apparaten die Anode und Kathode mit den Polen eines oder mehrerer Elemente, bei grösseren Apparaten mit einer für solche Zwecke besonders erbauten Dynamomaschine verbindet. Dabei muss es der Erfahrung des Galvanoplastikers überlassen bleiben, für jeden gegebenen Fall dem galvanischen Strome die richtige Stärke zu geben. Ist der Strom zu stark, so lagert sich das Metall an der Kathode pulverförmig ab, ist er zu schwach, so wird der Ueberzug blätterig, blasig und spröde.

Um den betrachteten Apparat anzuwenden, muss man über eine besondere Stromquelle verfügen. Es giebt jedoch noch eine zweite Classe von Apparaten, welche den Strom selbst liefert. Diese zweite Art scheint bald nach der Entdeckung der Galvano-

plastik im Jahre 1839 durch Jacobi in Petersburg und Spencer in Liverpool, von Böttcher in Frankfurt a. M. zuerst angegeben zu sein. Hier stehen zwei dieser Apparate, man findet sie jedoch nicht selten, in grossem Maassstabe ausgeführt, in galvanoplastischen Anstalten und Druckereien in Gebrauch. Fig. 67 stellt einen solchen Apparat dar. Ein grösseres Gefäss ist mit Kupfervitriollösung gefüllt. Auf dem Boden desselben befindet sich eine Kupferplatte, welche mit einem nach aussen führenden Kupferdraht oder Streifen verbunden ist. Auf sie wird der Gegenstand, welcher einen Kupferüberzug erhalten soll, aufgelegt. In das grosse Gefäss wird sodann ein kleineres eingehangen, dessen Boden aus porösem Stoffe besteht, bei kleinen Apparaten aus Thierblase, bei grossen aus besonders präparirtem Leder. Das Einhängegefäss wird mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt und in letztere eine Zinkplatte, die an einem Zinkstift befestigt ist, eingetaucht. Wird nun bei *A* der Zinkstift mit dem Kupferstreifen verbunden, so entsteht durch die Berührung der beiden Metalle ein galvanischer Strom, der von *A* in die Zinkplatte strömt, dort sich in unendlich viele Zweigströme auflöst. Der poröse Boden des Aufhängegefässes lässt diese Ströme durch sich hindurchgehen, verhindert aber dabei doch, dass sich Schwefelsäure und Kupfervitriollösung mit einander mischen. Die Theilströme gehen sodann durch die Kupfervitriollösung, und bewirken bei ihrem Einmünden auf den Gegenstand einen Kupferüberzug, vereinigen sich sodann wieder zu einem einzigen Strom, welcher durch den Kupferstreifen wieder dem Ausgangspunkte *A* zugeführt wird. Im Vergleich zu dem vorher besprochenen Apparate muss dieser Apparat als weniger vollkommen und nicht so vielseitig anwendbar bezeichnet werden. Zunächst ändert sich die Concentration der Lösung. Man sucht dem entgegenzuwirken, indem man einen mit Kupfervitriolkrystallen gefüllten Leinenbeutel in die Lösung einhängt. Löst sich damit auch immer wieder Kupfervitriol auf, so bleibt doch die frei werdende Schwefelsäure

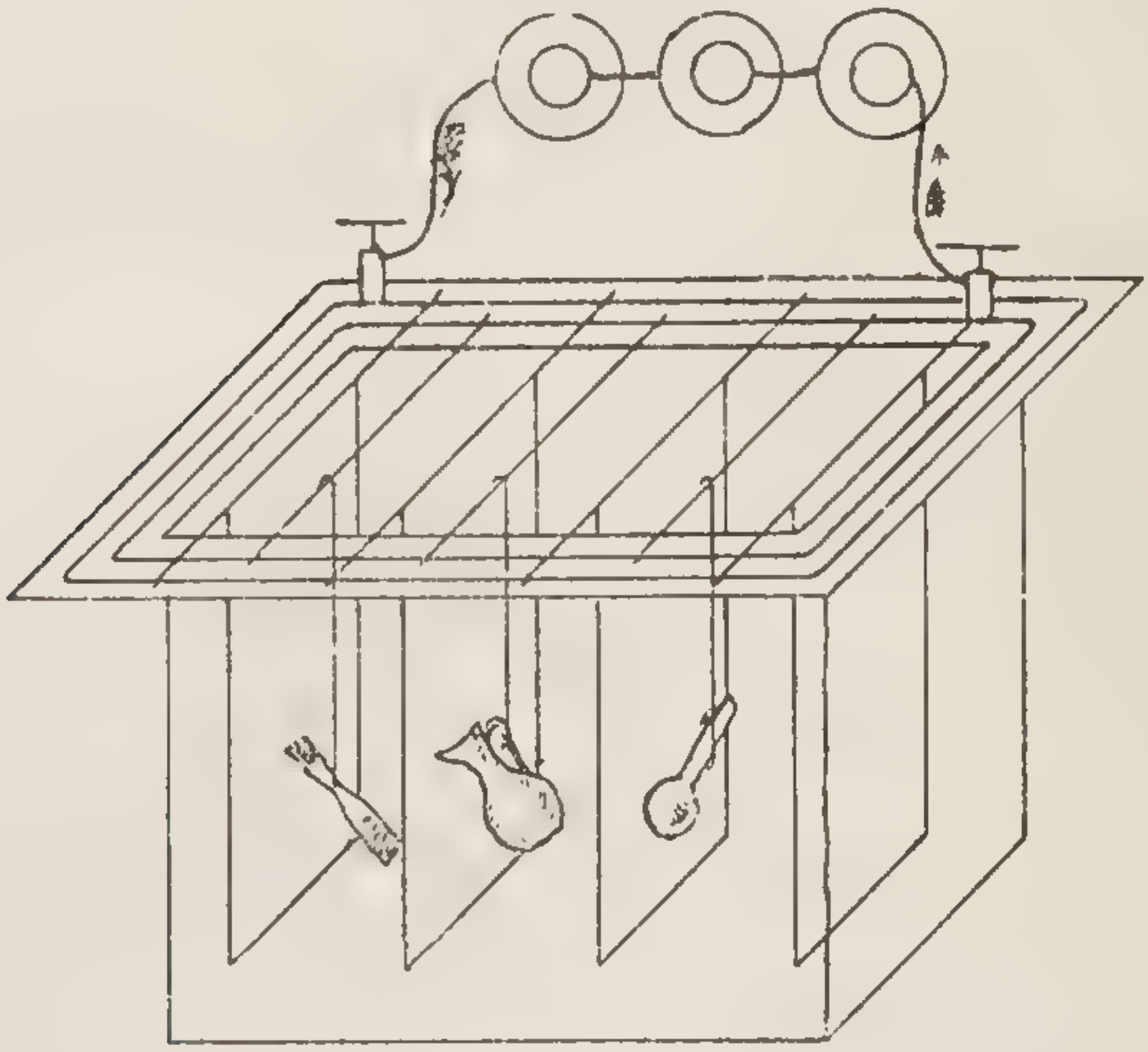
Fig. 67.



in der Lösung drinnen und macht nach längerem Gebrauche die Erneuerung derselben nöthig. Die Stromstärke kann man zwar durch Heben und Senken der Zinkplatte innerhalb gewisser Grenzen reguliren, doch hat die Auflösung des Zinkes zur Folge, dass dem Zink beigemengte Unreinigkeiten auf die poröse Membran fallen und dadurch störend einwirken. Um solche Störungen zu vermeiden, muss man das Zink mit einem Säckchen aus Flanell umgeben.

Zwei Hauptanwendungen sind es, welche man von den galvanoplastischen Apparaten macht. Man benutzt sie entweder

Fig. 68.



zur Herstellung von Metallüberzügen, hierher gehört das Verkupfern, das Versilbern, das Vergolden, Vernickeln, Vermesssingen, Verstählen u. s. f., sodann zur Herstellung von galvanoplastischen Abdrücken, Reliefs, Statuetten. Die Principien für Herstellung von Metallüberzügen haben wir bereits besprochen und der in Fig. 68 dargestellte galvanoplastische Apparat ist leicht zu verstehen.

In dem grossen, z. B. mit Silberlösung gefüllten Gefässe sind vier Silberplatten, welche als Anoden dienen, eingehangen. Sie theilen das Gefäss in drei Abtheilungen, innerhalb welcher die verschiedenen Gegenstände, die versilbert werden sollen, an

Drähten als Kathoden aufgehangen sind. Auf dem Rande des Gefässes sind parallel zu einander zwei in sich geschlossene Metallringe befestigt, von denen der äussere dem inneren an Höhe etwas überragt. Der äussere Ring ist mit der Klemme links, der innere mit der Klemme rechts verbunden. Auf dem äusseren Ringe liegen Metallstäbe auf, welche die Silberplatten tragen, auf dem inneren Ringe dagegen Stäbe, an welchen die zu versilbernden Gegenstände angehangen sind. Lässt man nun bei der Klemme links einen Strom ein-, bei der Klemme rechts den Strom aus dem Apparate austreten, so übersieht man leicht, dass der Strom zunächst zu den verschiedenen Silberplatten gelangt, von den Platten zu den zwischen ihnen aufgehangenen Gegenständen übergeht, von diesen durch den inneren Ringdraht zur Klemme rechts strömt. Sämmtliche Gegenstände werden dadurch einen Silberüberzug erhalten.

Abgesehen davon, dass man verschiedene Verfahren anwenden muss, um glänzend oder matt oder auch halbmatt zu vergolden, zu versilbern u. s. w., treten zu den rein galvanoplastischen Arbeiten noch eine ganze Reihe Handarbeiten hinzu. Ausser der Decapirung, dem Reinigungsverfahren, z. B. die Brunirung. Man versteht darunter das Poliren einzelner Stellen mittelst Polirstahles oder eines geschliffenen Achatstückes. Die wunderschönen versilberten oder vergoldeten Kunstgegenstände mit theils mattem, theils glänzendem Aussehen, welche mehrere Läden Braunschweigs in grosser Auswahl zeigen, sind auf solche Weise hergestellt. Ein anderes Verfahren, die sogenannte Aussparung, kommt zur Anwendung, wenn es sich darum handelt, auf einem und demselben Gegenstande Niederschläge von verschiedenen Metallen herzustellen. Handelt es sich z. B., den Gegenstand theils zu versilbern, theils zu vergolden, so versilbert man denselben zunächst ganz, überzieht sodann mittelst eines Pinsels alle Theile, welche silbern bleiben sollen, mit einem nicht leitenden Lack und bringt den Gegenstand in ein Goldbad. Nach der Vergoldung wird der Lacküberzug mit Terpentinöl oder Benzin abgewaschen, und der Gegenstand besitzt alsdann den gewünschten Gold- und Silberüberzug.

Unzählig sind die Gegenstände, welche auf diese Weise Metallüberzüge erhalten. Es giebt Fabriken, welche nichts thun,

als die Bügel zu Ledertaschen, Portemonnais zu vergolden, versilbern und namentlich zu vernickeln; Fabriken, wie z. B. der berühmte Cristoffel in Paris, welche nur Neusilbergegenstände versilbern; Fabriken, welche die jetzt so beliebten Kunstgegenstände in cuivre poli herstellen. Sie haben nur wenig mit dem Kupfer und dem Poliren zu thun. Als Beispiel greife ich unter den Tausenden von Kunstgegenständen einen heraus. Hier sehen Sie eine pompejanische Kanne in ihrer ursprünglichen Verfassung. Sie ist aus Zink gegossen. Hier steht dieselbe Kanne in cuivre poli, d. h. vermessingt.

Um einen galvanoplastischen Abdruck anzufertigen, hat man zunächst einen negativen Abdruck herzustellen, d. h. einen Abdruck, bei welchem jeder Erhabenheit des Originals eine Vertiefung und jeder Vertiefung im Original eine Erhabenheit entspricht. Dieser negative Abdruck wird Matrize genannt. Zur Herstellung der Matrize bedient man sich, wenn der Gegenstand reliefartig ist, je nach Umständen des Wachses, des Stearins, der Guttapercha, des Gypses oder auch leichtflüssiger Metalle, indem man in diese Substanzen, nachdem sie in weichen Zustand gebracht sind, den Gegenstand abdrückt. Welche Vorsicht man bei diesen Operationen zu beobachten hat, kann hier nicht erörtert werden, man kann sie nur in der Praxis erlernen, aber so viel ist ohne Weiteres klar, dass die Oberfläche der negativen Abdrücke, wofern sie auf nicht leitenden Substanzen hervorgerufen wurden, für den galvanischen Strom leitend gemacht werden müssen. Man nennt diese Operation Metallisiren. Zum Metallisiren wendet man in den meisten Fällen feinstgeschlämmten Graphit an, der mittelst Pinsel und Bürste auf die Oberfläche des Abdruckes aufgetragen wird. Durch den unendlich dünnen Graphitüberzug wird die Oberfläche leitend. Man hängt nun den so präparirten Abdruck in den galvanoplastischen, mit Kupfervitriollösung gefüllten Apparat als Kathode auf und lässt einen oder mehrere Tage lang sich Kupfer auf die Oberfläche absetzen. Ist der Niederschlag dick genug geworden, so wird die Matrize aus dem Apparate genommen, und der Kupferniederschlag vorsichtig von der Matrize abgelöst. Um ihm eine grössere Festigkeit zu geben, hintergiesst man ihn mit einer Mischung aus Blei und Zinn.

Um den ganzen Vorgang deutlich zu machen, habe ich hier eine kleine Ausstellung gemacht, welche die galvanoplastische Wiedergabe des bekannten Bildes von Defregger „Der Salontyroler“ in ihren verschiedenen Phasen darstellt. Nr. 1 zeigt die bereits mit Graphit überzogene Matrize aus Guttapercha. Nr. 2 den auf der Matrize im galvanoplastischen Apparate innerhalb von 24 Stunden erzeugten Kupferniederschlag. Nr. 3 den von der Matrize abgelösten Kupferniederschlag. Derselbe wurde in 36 Stunden hergestellt und hat etwa die Dicke von starkem Papier. Nr. 4 den galvanoplastischen Kupferabdruck gereinigt und mit Metall hintergossen, endlich Nr. 5 den Abdruck versilbert. Nr. 6 und Nr. 7 zeigen zwei runde Reliefs, welche auf gleiche Weise erhalten wurden, deren Oberfläche aber oxydirt wurde. Auf den beiden blauen Tafeln befinden sich endlich eine ganze Reihe reliefartiger Verzierungen.

Nicht bloss der Kunst, auch dem reellen Nutzen dient die Galvanoplastik. Um nur ein Beispiel anzuführen, so ist ja hinlänglich bekannt, dass man in früheren Zeiten bei Herstellung der Holschnitte sich der Holzstöcke selbst, in welchen das Bild eingeschnitten ist, zum Drucke bediente. Das Holz aber ist ein zu weiches Material, und daher kommt es, dass bei einer grösseren Anzahl von Abdrücken der letzte Abdruck verwischter und weniger scharf zum Vorschein kommt. Heute wird in keiner Druckerei mit dem Holzstock selbst gedruckt. Man stellt von ihm einen galvanoplastischen Abdruck, ein Cliché, her und druckt mit diesem. Wenn es nöthig ist, kann man auch mehrere Clichés herstellen, der Holzstock bleibt dabei ungeändert und die Holzschnitte haben alle gleiche Güte. Nr. 8 ist ein solcher Holzstock, Nr. 9 die Matrize in Wachs, Nr. 10 die Matrize mit Graphit überzogen, Nr. 11 der galvanoplastische Niederschlag, Nr. 12 derselbe auf der Rückseite verzinnt, Nr. 13 derselbe mit Lettern-metall hintergossen und zum Drucke fertig. Darunter Nr. 14 ist eine Denkmünze mit Matrize und Abdrücken ausgestellt.

Welche unglaubliche Genauigkeit in solchen Abdrücken erreicht werden kann, ergiebt sich zur Genüge daraus, dass es gelungen ist, galvanoplastische Abdrücke selbst von Photographien oder Daguerrotypplatten herzustellen. Die viel benutzte Heliogravure beruht auf dieser Möglichkeit. Das bei den Holz-

schnitten angewandte Verfahren kann man ebenso auf Kupferstiche übertragen und damit die avant la lettre ausser Cours setzen. Man begnügt sich jedoch meist, die Kupferstiche galvanoplastisch mit einer unendlich dünnen Schicht Eisen zu überziehen, d. h. sie zu verstählen, um sie dadurch beim Drucken widerstandsfähiger zu machen.

Auch Statuetten, selbst lebensgrosse Statuen lassen sich auf galvanoplastischem Wege herstellen, wie solche von galvanoplastischen Kunstwerkstätten in Rom geliefert werden. Bei grossen Statuen stellt man die einzelnen Theile für sich her und setzt sie sodann zum Ganzen zusammen. Ein Beispiel hierfür bietet das bekannte Guttenbergsdenkmal in Frankfurt a. M. dar, in welchem die drei kolossalen Hauptstatuen, Guttenberg, Fust und Schöffer, durch Ludwig von Kress galvanoplastisch hergestellt wurde.

Es ist Zeit, das Gebiet der Galvanoplastik zu verlassen, um noch dem zweiten Theile des heutigen Vortrages, dem elektrischen Lichte, gerecht zu werden. Ich muss mir deshalb versagen, noch auf andere, nicht weniger interessante Anwendungen der Galvanoplastik einzugehen, wie z. B. auf die von v. Kobell entdeckte Galvanographie und Glyphographie, auf das galvanoplastische Aetzverfahren in Aquatinta-Manier, auf die Herstellung von Farbenringen, auf die Vergoldung und Versilberung organischer Stoffe, wie Blätter, Blumen, Früchte, Käfer u. s. w. Doch kann ich eine Anwendung nicht unberührt lassen, welche für uns Braunschweiger eine besondere Bedeutung hat.

In Oker sind eine ganze Anzahl Dynamomaschinen aufgestellt, von denen jede ihren Strom durch 10 bis 12 grosse Bäder hindurchschickt. In denselben befindet sich das in Kupfererzen enthaltene Kupfer aufgelöst, vermischt mit anderen Metallen und sonstigen Unreinigkeiten. In jedem Bade wird innerhalb von 24 Stunden ungefähr $^1/_2$ Centner chemisch reines Kupfer in Form von grossen Platten ausgeschieden, während die übrigen Beimengungen im Bade zurückbleiben. Jede Maschine stellt durchschnittlich täglich 5 bis 6 Centner chemisch reines Kupfer her. Hier sehen Sie ein kleines Stück einer solchen Kupferplatte, welches zu galvanometrischen Apparaten in der physikalischen Werkstätte verwendet wird. Die Trennung eines Metalles von

geringen Beimengungen anderer Metalle auf galvanoplastischem Wege hat sich den früheren chemischen Methoden gegenüber als billiger und zweckmässiger erwiesen.

Unter allen Lichterscheinungen, welche durch die Elektricität hervorgerufen werden können, ist der elektrische Funken, wie ihn die Elektrisirmaschine hervorbringt, die älteste und bekannteste. Die auf neueren Principien erbauten Elektrisirmaschinen, namentlich die von Holtz, setzt uns in den Stand, grosse Mengen von Funken zu erzeugen. Ich habe hier eine solche, in der Werkstätte der physikalischen Abtheilung erbaute, Holtz'sche Maschine aufgestellt. Sie sehen den Strom von Funken, den wir durch sie erzeugen können. Der nämliche Effect lässt sich noch auf eine zweite ganz verschiedene Weise mit Hülfe des sogenannten Funkeninductors erreichen. Schiebt man, wie wir in dem ersten Vortrage sahen, über einen weichen Eisenkern eine Drahtrolle, die sogenannte primäre Rolle, und lässt durch sie einen Strom gehen, den man abwechselnd öffnet und schliesst, so muss in dem Eisenkerne abwechselnd Magnetismus entstehen, und verschwinden. Schiebt man sodann auf den Eisenkern noch eine zweite Rolle, die secundäre Rolle, auf, so werden durch das abwechselnde Entstehen und Verschwinden des Magnetismus in der secundären Rolle Inductionsströme erzeugt. Besteht die secundäre Rolle aus einer grossen Anzahl Windungen von dünnem Draht, wie bei dem vorstehenden Apparate, so werden die in ihr erzeugten Inductionsströme so stark, dass es nicht nöthig ist, die Enden mit einander in Verbindung zu bringen. Der Strom bricht sich Bahn durch die Luft und geht in Form eines Funkenstromes von einem Drahtende zum anderen über, selbst wenn der Abstand der Enden mehrere Centimeter beträgt. Bei dem vorstehenden Apparate ist zum raschen Schliessen und Oeffnen des primären Stromes das Princip der Selbstunterbrechung in Anwendung gebracht, welches in dem zweiten Vortrage näher erörtert wurde. Setzen wir den Apparat in Thätigkeit, so zeigt sich ein glänzender Funkenstrom.

Eine genauere Untersuchung der Funken zeigt nun, dass jeder derselben sich aus zwei Theilen zusammensetzt, die sich ganz verschieden verhalten, nämlich aus dem hellleuchtenden Kerne und aus der mattleuchtenden Aureole oder Atmosphäre

des Funkens. Bei grosser Spannung besteht der Funken fast nur aus dem Kerne, die Aureole ist sehr klein, umgekehrt bei kleiner Spannung ist die Aureole sehr gross und der Kern klein, ja er kann gänzlich verschwinden. Beide Theile verhalten sich so zu einander, dass bei gleichen Ladungen alle Umstände, welche den Kern vergrössern, die Aureole verringern und umgekehrt. Von dem Vorhandensein der Aureole überzeugt man sich am einfachsten durch folgenden Versuch. Bläst man mit Hülfe eines Glasrohres kräftig Luft gegen den Funkenstrom, so gelingt es, die Aurcole vom Kerne zu trennen. Durch die Spectralanalyse lässt sich ferner leicht nachweisen, dass der Kern aus glühenden Metalldämpfen besteht, welche aus der Verflüchtigung kleiner, von den Funken abgerissener Metalltheilchen hervorgehen. Daher erklärt es sich, dass der Kern mit der Beschaffenheit der Metallstifte, zwischen denen der Funken übergeht, seine Farbe wechselt, während die Aureole ungeändert bleibt. Die Aureole dagegen wird durch glühende Luft gebildet, welche den Kern umgiebt. Daher ändert die Aureole ihre Farbe, wenn man die Funkenentladung innerhalb verschiedener Gasarten vor sich gehen lässt, wie z. B. in Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlensäure u. s. w.

Der Kern verschwindet gänzlich, wenn man den Funkenstrom durch eine Glasröhre leitet, die mit irgend einer Gasart in sehr verdünntem Zustande gefüllt ist. Man erhält dann die wunderschöne, aber hinlänglich bekannte Erscheinung, welche die Geissler'schen Röhren zeigen. Ich begnüge mich, nur einige Röhren vorzuführen. In vorstehender Röhre befindet sich lediglich verdünnter Stickstoff. Der Strom tritt durch eingeschmolzene Platindrähte in die Röhre ein und aus. Von der Eintrittsstelle aus verbreitet sich wundervoll zartes, röthliches Licht, welches die ganze Röhre ausfüllt, die Austrittsstelle ist dagegen von violettem Glimmlichte umgeben. Dasselbe ist stets durch einen dunklen Zwischenraum von dem übrigen Lichte getrennt. Eine merkwürdige Erscheinung, die Schichtung des Lichtes, tritt ein, wenn sich in dem Rohre eine Spur von Alkohol-, Terpentinöl-, Schwefel-, Kohlenstoff- oder Phosphordämpfen befindet. Es zeigt sich dies deutlich in der folgenden Röhre. Das Licht im Inneren zerfällt in Lichtscheiben. Hier sehen Sie eine noch grössere.

Die folgende Röhre hat die Eigenschaft, nachzuleuchten. Dass man ganze Namenszüge herstellen kann, davon giebt die folgende Röhre ein Beispiel.

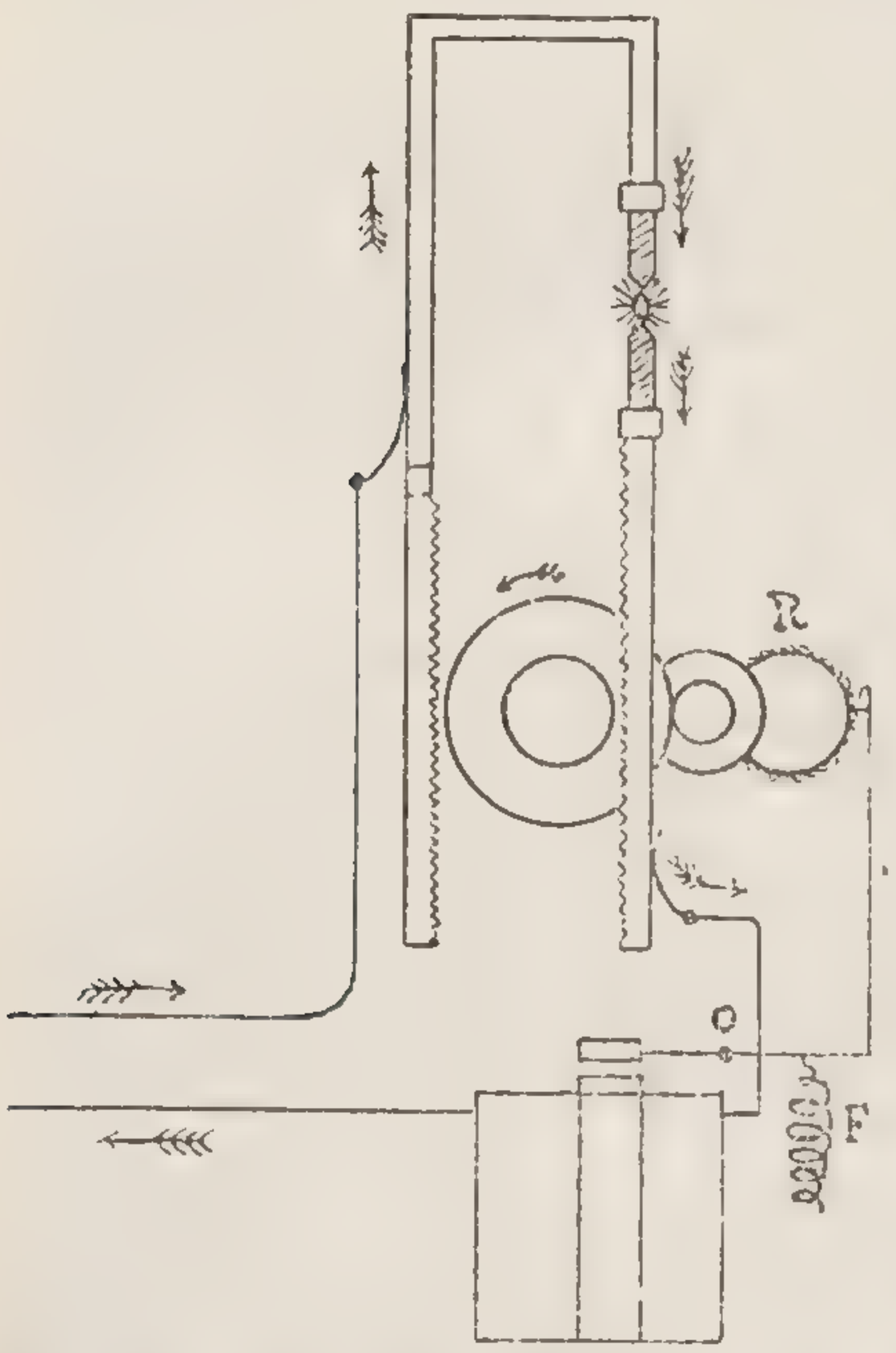
In dem ersten Vortrage sahen wir, dass man auch durch den galvanischen Strom unmittelbar Licht erzeugen kann, indem man zwei Kohlenstäbchen mit den Polen einer galvanischen Batterie oder einer Dynamomaschine verbindet, die Stäbchen erst mit einander in Berührung setzt und sie sodann wieder von einander entfernt Es entsteht dann zwischen ihnen ein glänzender Lichtbogen, welcher zu dem Namen „Bogenlicht“ die Veranlassung gegeben hat. Das glänzende Licht verdankt die Erscheinung dem Umstande, dass der galvanische Strom bei seinem Anstritte aus der ersten Kohle zahllose kleine Kohlenpartikelchen losreisst und in Weissgluth versetzt. In der That ist der Lichtbogen nichts Anderes, als eine grosse Menge solcher in Weissgluthhitze befindlicher Kohlentheilchen, welche den Uebergang des Stromes von der einen Kohle zur anderen vermitteln. Dass wir es aber hier nicht mit einer blossen Verbrennungserscheinung zu thun haben, geht daraus hervor, dass sich nichts ändert, wenn wir den ganzen Vorgang im luftleeren Raume vor sich gehen lassen, obwohl dann der zur Verbrennung nöthige Sauerstoff gar nicht vorhanden ist.

Um den Vorgang, der sich bei der Lichtentwickelung abspielt, bequem beobachten zu können, entwerfen wir von den Kohlenspitzen ein optisches Bild. Sie sehen hier die beiden Kohlenspitzen als glühende Kolosse vor sich. Die untere Spitze, von der aus der Strom zu der oberen übergeht, ist viel heisser und daher auch stärker leuchtend als die obere Spitze. Zugleich zeigt sich an ihr eine kraterartige Vertiefung, die ihre Entstehung dem fortwährenden Abreissen kleiner Kohlenpartikelchen verdankt, während die obere Spitze, wo ein solches Abreissen nicht stattfindet, immer spitz bleibt. Das Abreissen der Kohlentheilchen ist auch die Ursache, dass die untere Kohle doppelt so rasch verbrennt als die obere. Auch der galvanische Lichtbogen ist mit einer Aureole versehen, sie kommt indessen erst zum Vorschein, und zwar als blauviolette Lichtmasse, wenn der Abstand der Kohlenspitzen verhältnissmässig gross gemacht wird. Der Lichtbogen ist dann viel weniger leuchtend, und daher müssen

bei elektrischer Beleuchtung grössere Entfernungen der Kohlenspitzen vermieden werden. Der Abstand von 3 mm ist unter gewöhnlichen Verhältnissen der günstigste für Helligkeit und Gleichmässigkeit.

In Folge des Umstandes, dass die beiden Kohlenspitzen verbrennen, und zwar die eine doppelt so rasch als die andere, wird der Abstand zwischen ihnen mit der Zeit grösser und grösser, und da, wenn der Abstand eine gewisse Grösse überschreitet, das Licht ganz verlöscht, so müssen die Kohlen von Zeit zu Zeit einander genähert werden, wenn anders das Licht dauernd erhalten bleiben soll. Vorrichtungen, welche dazu dienen, den Kohlenspitzen passende Entfernungen zu geben, heissen Lichtregulatoren oder auch elektrische Lampen. Anfänglich führte man die Regulirung mit der Hand aus. Hier steht ein solcher Handregulator. Durch eine Schraube hebt oder senkt man die obere Kohle. Später jedoch bediente man sich automatischer Regulatoren, bei denen der galvanische Strom selbst das Reguliren übernimmt. Foucault war der erste, welcher einen solchen construirte, ihm folgten dann Dubosque, Serrin, v. Hefner-Ateneck und viele Andere.

Fig. 69.




Um zu zeigen, wie ein solches Reguliren durch den Strom selbst vor sich gehen kann, will ich einen der einfachsten Regulatoren besprechen, die Dubosque'sche Lampe, welche hier aufgestellt ist. Sie besteht (Fig. 69) aus zwei Zahnstangen, welche

die Kohlenstäbchen tragen. In die Zahnstangen greifen zwei fest mit einander verbundene Zahnräder ein, von denen das eine einen doppelt so grossen Durchmesser besitzt als das andere. Die beiden Räder werden durch ein Uhrwerk in der Richtung des Pfeiles gedreht, dadurch senkt sich die linke Zahnstange doppelt so rasch, als die rechte gehoben wird, und die Kohlenstäbchen werden einander genähert. Mit den Zahnrädern steht das Rädchen *R* durch den Eingriff mehrerer anderer Räder in Verbindung. In die Zähne des Rades *R* greift ferner für gewöhnlich ein Sperrhaken ein, der an einem um *O* drehbaren Winkelhebel sitzt. Derselbe trägt an seinem anderen Ende eine weiche Eisenplatte und ist mit der Feder *F* verbunden, welche den Sperrhaken von den Zähnen des Rades *R* zu entfernen strebt. Unterhalb der Eisenplatte ist ein Elektromagnet aufgestellt. Lässt man nun durch eine schleifende Feder den Strom in die Zahnstange links eintreten, so kann derselbe, da der obere Theil der Zahnstange von dem unteren durch ein Zwischenstück isolirt ist, nur nach der oberen Kohle gelangen. Er geht von da zur unteren Kohle über, durch die Zahnstange rechts durch eine an ihr schleifende Feder zum Elektromagneten, von wo er, nachdem er die Rolle durchlaufen hat, wieder den Apparat verlässt.

Wir wollen annehmen, die Kohlen befänden sich anfänglich in normalem Abstande, dann ist der Strom so stark, dass die Eisenplatte von dem Elektromagneten angezogen und festgehalten wird, und folglich muss der Sperrhaken in das Zahnrad *R* dauernd eingreifen und die Drehung des Räderwerkes durch das Uhrwerk verhindern. Sind die Kohlen ein Stück abgebrannt, und ist dadurch der Zwischenraum zwischen ihnen und damit auch der Widerstand, welchen der Strom zu überwinden hat, grösser geworden, so wird dadurch der Strom so geschwächt, dass der Elektromagnet die Eisenplatte nicht mehr festhalten kann, die Feder *F* zieht den Hebel und damit den Sperrhaken vom Zahnrade *R* zurück, das Uhrwerk kommt in Thätigkeit und nähert die beiden Kohlen. Dadurch wird der Strom wieder stärker, der Elektromagnet zieht wieder die Eisenplatte an und das Uhrwerk wird arretirt u. s. f.

Auf ähnlichen Principien beruht die Lampe von v. Hefner-Alteneck, welche hier steht. Wir wollen sie in Thätigkeit setzen und Sie sehen das schöne Licht.

Die Lichtstärke des elektrischen Lichtes ist eine sehr bedeutende. Man misst dieselbe gewöhnlich nach Normalkerzen. Als Normalkerze dient eine Paraffinkerze von 20 mm Durchmesser, deren Flamme die Höhe von 50 mm hat. Natürlich hängt die Lichtstärke des elektrischen Lichtes von der Stärke des Stromes ab, welcher das Licht hervorbringt. Im Mittel kann man rechnen, dass man mit einer Dynamomaschine, welche ihre normale Umdrehungsgeschwindigkeit besitzt, pro Pferdekraft eine Lichtstärke von 1500 solcher Normalkerzen hervorbringen kann, d. h. die Flammen von 1500 Normalkerzen, alle in einem Punkte concentrirt, würden dasselbe Licht ausstrahlen wie die durch den Strom gespeiste Lampe. Man hat bei Erzeugung eines einzelnen elektrischen Lichtes Lichtstärken von 30 000, ja sogar 70 000 Normalkerzen hervorgebracht.

So ingeniös die betrachtete Lampensorte an sich sein mag, sie leidet an einem grossen Uebelstande, der sie heute sehr in den Hintergrund gedrängt hat, sie lässt keine Theilung des Lichtes zu. Handelt es sich z. B. bei Beleuchtungsanlagen darum, nicht bloss ein einzelnes elektrisches Licht, sondern deren eine ganze Anzahl herzustellen, so ist diese Art von Lampen gänzlich unbrauchbar, sofern man nicht für jede Lampe eine besondere Maschine in Betrieb setzen will. Wollte man nämlich, wie das am nächsten liegt, mehrere Lampen hinter einander durch denselben Strom durchlaufen lassen, so würden Unregelmässigkeiten bei einer Lampe Unregelmässigkeiten bei allen übrigen Lampen zur Folge haben, verlöschte nur eine Lampe, so würden damit auch sämmtliche übrigen Lampen mit verlöschen. Man könnte ferner daran denken, um eine Theilung des elektrischen Lichtes, d. h. den Betrieb mehrerer Lampen durch ein und dieselbe Maschine zu ermöglichen, von der Dynamomaschine aus eine Anzahl Zweigleitungen herzustellen und in diese die einzelnen Lampen einzuschalten, wie dies in Fig. 70 dargestellt ist. Die Lampen sind alsdann in gewissem Grade von einander unabhängig. Aber praktisch hat sich das Princip nicht bewährt, wenn man das System Gülcher davon ausnimmt, und verursacht der vielen Leitungen wegen grosse Kosten. Die Theilung des Lichtes wurde zuerst möglich gemacht durch die sogenannte Jablochkoffkerze, Fig. 71, im Jahre 1876. Hier stehen zwei

solche Kerzen vor Ihnen. Sie bestehen aus zwei parallelen verticalen Kohlenstäbchen, welche 2 bis 3 mm von einander abstehen und durch eine isolirende Gypsschicht von einander getrennt sind. Die Stäbchen sind in einem Halter befestigt, welcher gestattet, dem einen Stäbchen den Strom zuzuführen und von dem zweiten Stäbchen den Strom fortzuführen. Stellt man anfänglich an den oberen Enden der Stäbchen eine Verbindung her, so bildet sich ein glänzender Lichtbogen, doch kann derselbe bei

Fig. 70.

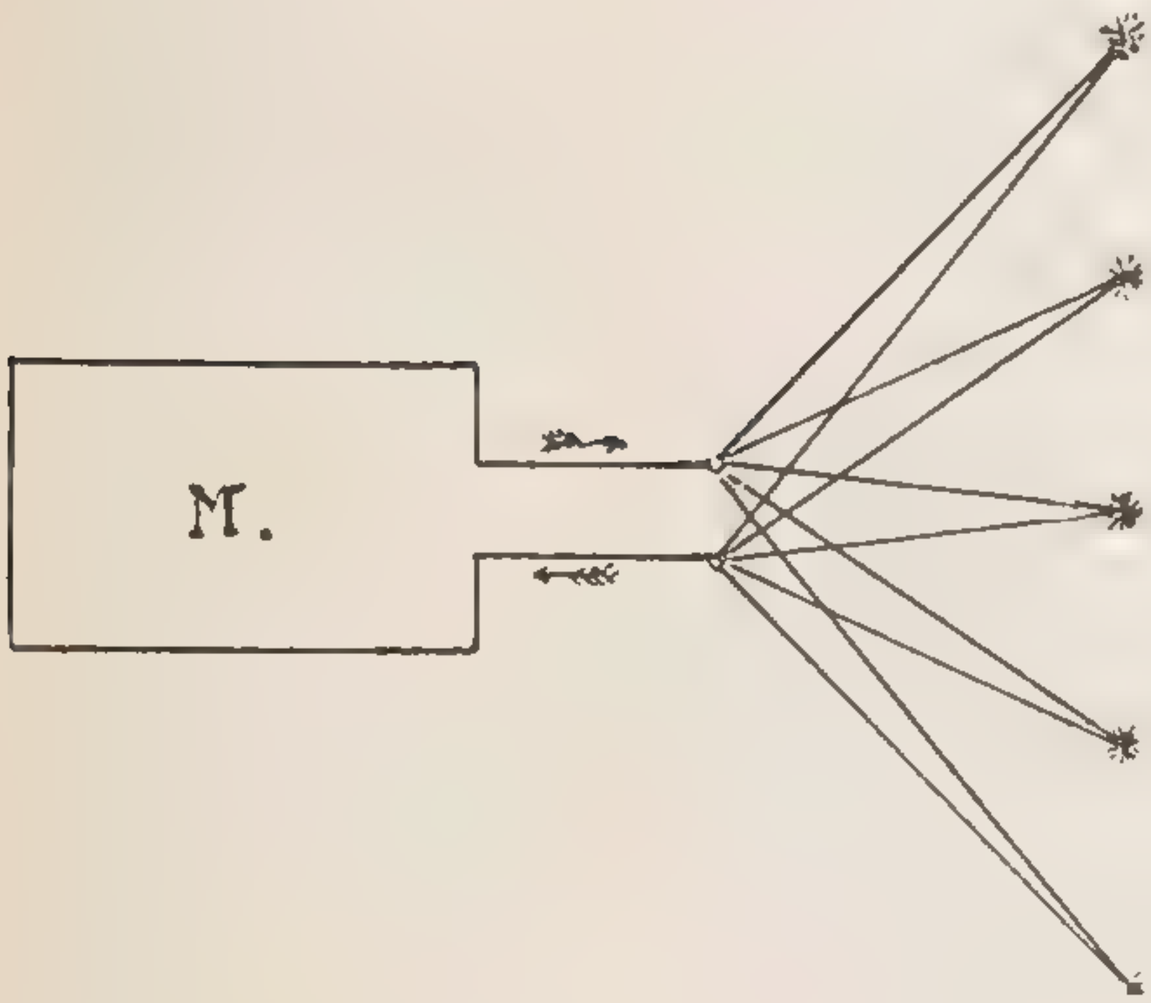
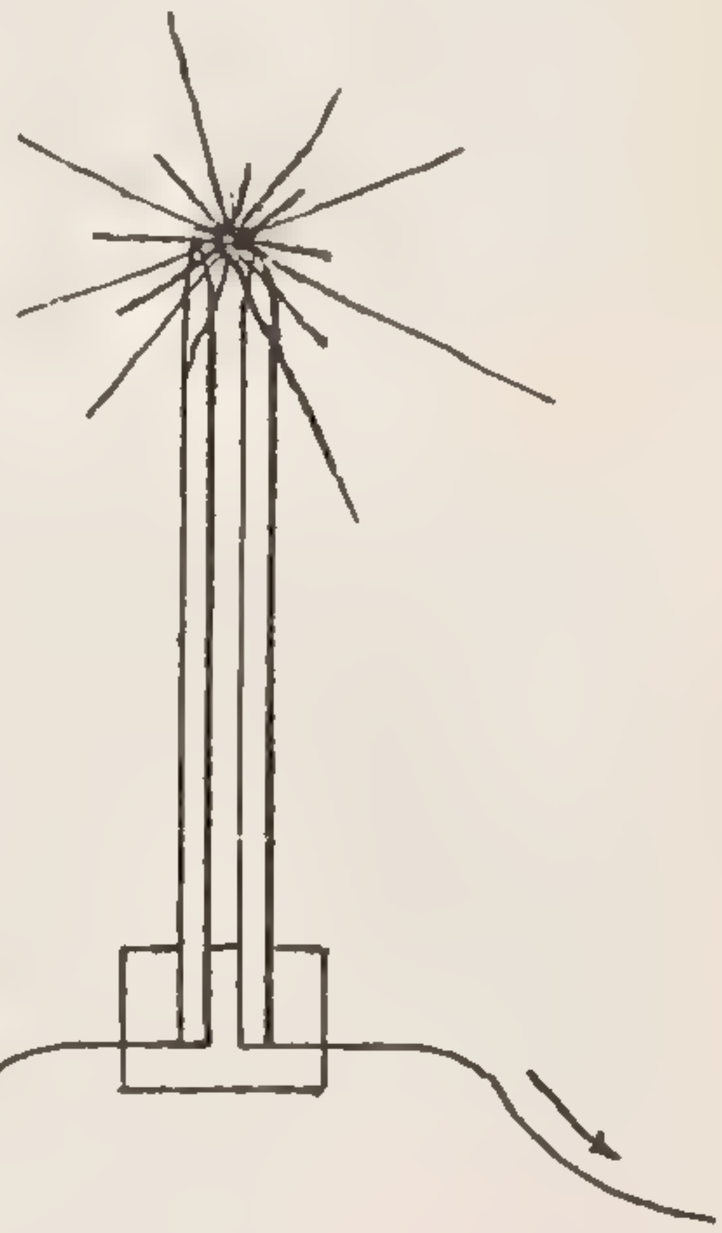



Fig. 71.



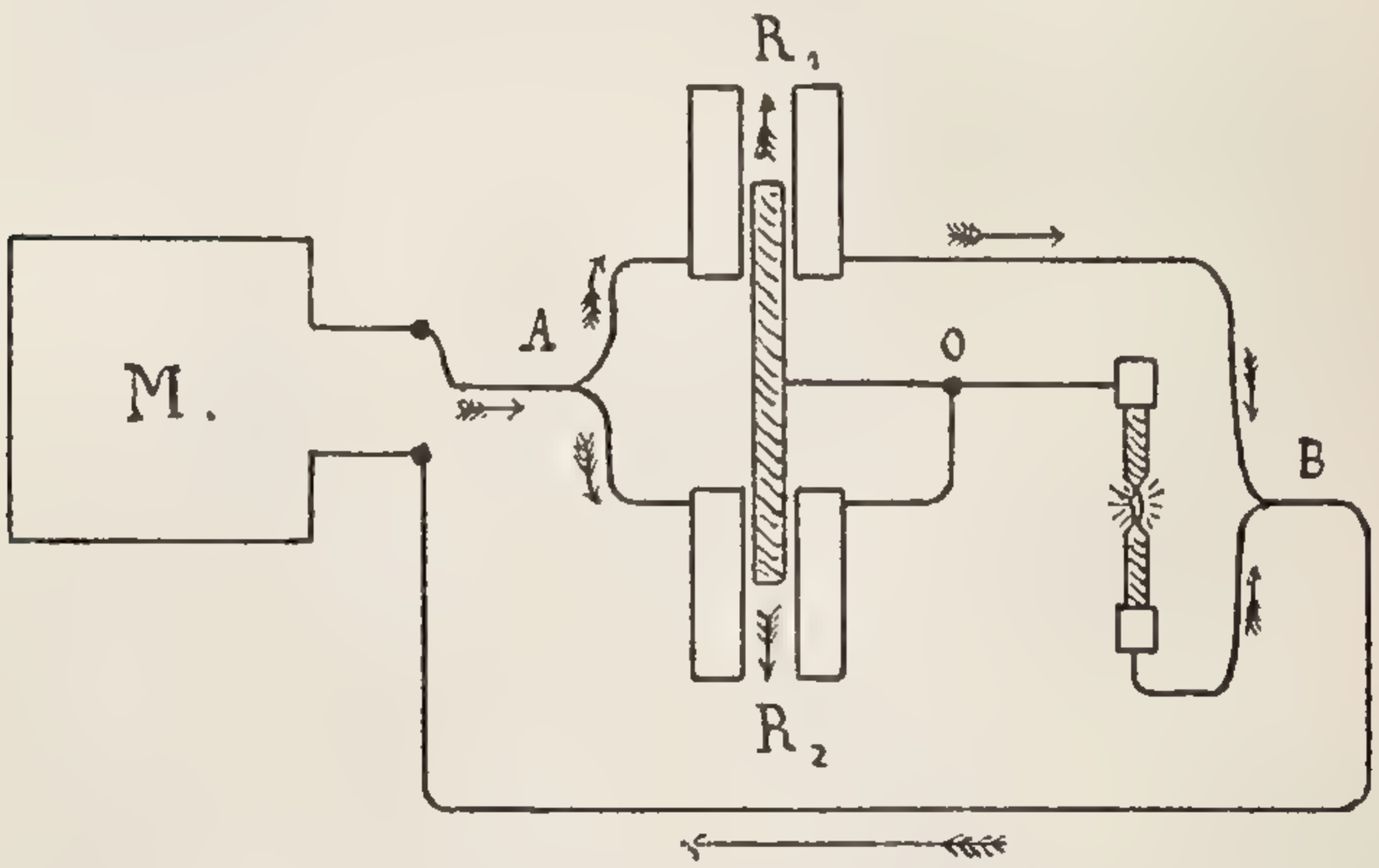
Gleichstrommaschinen nur von kurzer Dauer sein, da das eine Stäbchen doppelt so rasch abbrennt als das andere, und dadurch der Abstand mit der Zeit vergrössert wird. Diese Schwierigkeit aber umgeht man leicht, wenn man statt gleichgerichteter Ströme Wechselströme durch die Stäbchen hindurchgehen lässt, alsdann brennen beide Stäbchen gleich rasch ab und erzeugen ruhiges Licht. Uns steht eine Wechselstrommaschine nicht zur Disposition, wir können daher die Kerze nur kurze Zeit brennen lassen. Das gleichmässige Abbrennen der Jablochkoffkerze ermöglicht eine ganze Anzahl von Kerzen hinter einander von dem Strome einer einzigen Maschine durchströmen zu lassen und so eine Theilung des Lichtes herzustellen. Die mehrjährige Be-

leuchtung der Avenue de l'opera in Paris durch Jablochkoffkerzen hat deren Anwendbarkeit hinlänglich bewiesen.

Im Jahre 1878 wurde fast gleichzeitig durch die Franzosen Fontaine, Lontin, Mersenne ein neues Princip für die Theilung des elektrischen Lichtes entdeckt. Auf diesem Principe beruhen fast alle heute gebräuchlichen Lampen, die so gut functioniren, dass sie die Jablochkoffkerzen fast verdrängt haben. Wir wollen von den vielen nach diesem neuen Principe erbauten Lampen, welches auf einer Verzweigung des galvanischen Stromes beruht, als Beispiel die Differentiallampe von v. Hefner-Alteneck betrachten.

Fig. 72 zeigt die wesentlichen Theile. In den Höhlungen zweier über einander aufgestellten Drahtrollen $R_1$ und $R_2$ kann

Fig. 72.




sich ein weicher Eisenstab frei hin- und herbewegen. Derselbe ist an dem linken Arm eines Hebels befestigt, der sich um den Punkt *O* dreht. Der Hebelarm rechter Hand dagegen trägt das obere Kohlenstäbchen. Der Eisenstab und das obere Kohlenstäbchen vertreten gewissermaassen die Wagschalen einer um *O* drehbaren Wage. Lässt man nun den Strom einer Dynamomaschine in die durch Fig. 72 veranschaulichten Drahtverbindungen eintreten, so zerlegt sich zunächst der Strom bei *A* in zwei Theilströme, von denen der eine die obere Rolle $R_1$, der andere die untere Rolle $R_2$ durchläuft. Die untere Rolle wird nun aus

wenigen Windungen von dickem Draht, die obere Rolle aus vielen Windungen und dünnem Draht hergestellt, und damit wird erreicht, dass die Rolle $R_2$ dem Strom einen viel geringeren Widerstand entgegengesetzt als die Rolle $R_1$ und folglich, dass der durch die untere Rolle gehende Theilstrom viel stärker ist, als der Theilstrom in der oberen Rolle.

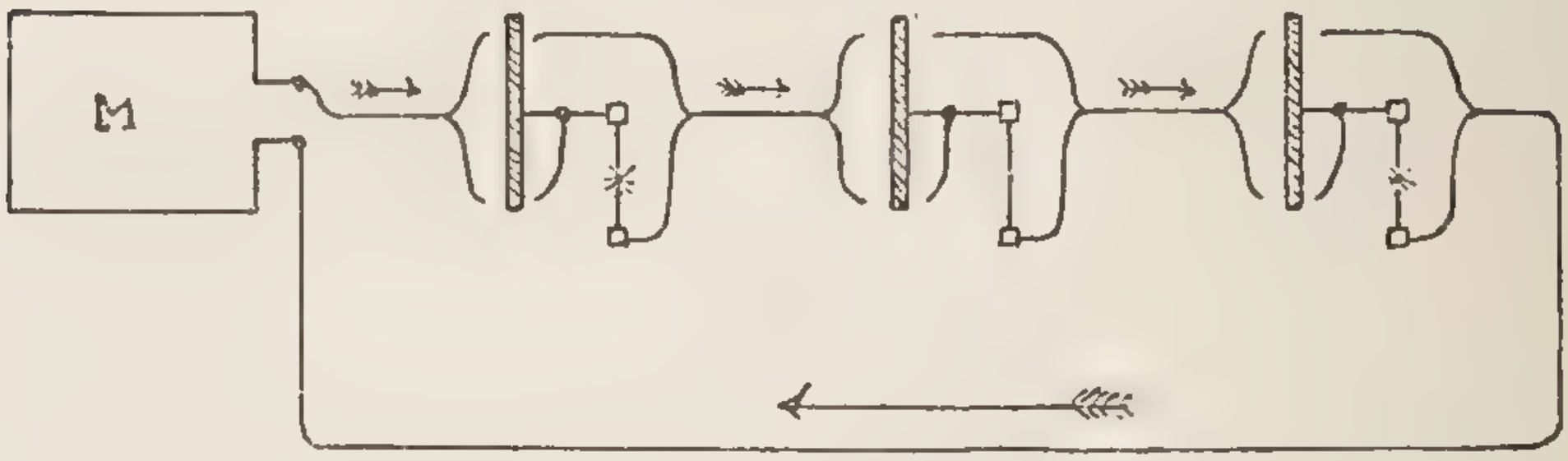
Der untere starke Strom geht von der Rolle $R_2$ zu dem Drehungspunkte $O$, durch die obere Kohle zu der unteren über, und gelangt von hier zu dem Punkte $B$, wo er sich mit dem von der Rolle $R_1$ kommenden Strome vereinigt und dann zu der Maschine zurückkehrt. Jede der beiden Rollen $R_1$ und $R_2$ sucht nun den Eisenstab in seine Höhlung hineinzuziehen, und man kann es durch geeignete Aufstellung der Rollen $R_1$ und $R_2$ ohne Schwierigkeit dahin bringen, dass der Eisenstab, und mit ihm der Hebel, eine solche Stellung einnimmt, bei welcher die Kohlenspitzen ihre normale Entfernung besitzen. Vergrössert sich die Entfernung beim Abbrennen der Kohlen, so wird dadurch der Widerstand im unteren Stromkreise grösser und damit die Stromstärke in der unteren Rolle kleiner. Mit der Stromstärke in der Rolle $R_2$ nimmt aber auch die Kraft ab, mit welcher die Rolle den Eisenstab nach unten zieht. Der Eisenstab wird folglich durch die obere Rolle $R_1$ gehoben, und dadurch die Kohlen einander genähert werden. Wären umgekehrt die beiden Kohlen aus irgend einer Ursache einander zu nahe oder gar zur Berührung gekommen, so würde dadurch die Stromstärke in dem unteren Zweigstrom viel stärker werden als in dem oberen, die Rolle $R_2$ würde den Eisenstab viel stärker nach unten treiben als die Rolle $R_1$ nach oben, derselbe würde sich nach unten bewegen und damit die Kohlen von einander entfernen müssen. Der Strom stellt folglich die Kohlen von selbst immer auf die normale Entfernung ein.

Um die Regulirung nach diesem Principe auf längere Zeit hervor zu rufen, müssen an der Lampe noch eine Reihe complicirter Vorrichtungen angebracht werden, auf die wir hier nicht näher eingehen. Eine solche Lampe mit Stromtheilung, wenn auch in ihrer Construction von der besprochenen Lampe abweichend, befindet sich in dieser Milchglasglocke. Sie wurde von der deutschen Edisongesellschaft in Berlin hergestellt und

übertrifft die Differentiallampe von v. Hefner-Alteneck beinahe noch in der Gleichmässigkeit des Brennens, insofern bei ihr bei richtiger Einstellung jedes Zucken des Lichtes wegfällt.

Wie mit Hülfe dieser neuen Classe von Lampen die Theilung des Lichtes erreicht werden kann, deutet Fig. 73 an. Jede der einzelnen Differentiallampen besorgt ihre Regulirung, ohne die übrigen Lampen zu stören. Die grosse Halle des Anhalter Bahnhofs in Berlin wird durch 24 Differentiallampen erleuchtet von je 350 Normalkerzen. Hierzu sind drei grosse Dynamomaschinen aufgestellt, von denen jede zehn einzelne Lampen speisen kann.

Fig. 73.




Wir verlassen jetzt das Bogenlicht, um die zweite Art der elektrischen Beleuchtung, das Glühlicht, zu besprechen. Doch gestatten Sie mir, vorher noch in aller Kürze eine Vorrichtung zu erwähnen, die theoretisch genommen, eine hervorragende Bedeutung besitzt, in der Praxis aber bisher noch wenig, am meisten noch zur Herstellung von Glühlicht benutzt wird. Es sind dies die Accumulatoren.

Wie in dem ersten Vortrage gezeigt wurde, sind Accumulatoren Vorrichtungen, welche gestatten, Elektricität in grossen Mengen aufzuspeichern. Sie gleichen Leydener Flaschen, die bei ihrer Entladung einen Entladungsstrom hervorbringen, nur mit dem Unterschiede, dass dieser Strom von viel längerer Dauer ist und eine viel geringere Spannung besitzt. In der That kann man durch den Entladungsstrom von Accumulatoren alle Wirkungen hervorrufen, die durch galvanische Ströme überhaupt herzustellen sind. Aber doch haben sich die Erwartungen, welche man bei der Entdeckung derselben hegte, bisher nur zum Theil erfüllt, da sie den Dynamomaschinen gegenüber im Allgemeinen an Zweckmässigkeit nachstehen.

Stellt man in ein Gefäss mit verdünnter Schwefelsäure (1 Theil Schwefelsäure auf 10 Theile Wasser) zwei Bleiplatten einander gegenüber und lässt durch die eine Bleiplatte als Anode den Strom ein, und durch die andere als Kathode den Strom aus der Flüssigkeit austreten, so wird das Gemisch zersetzt. Es bildet sich an der Anode Bleisuperoxyd, an der Kathode scheidet sich Wasserstoff aus. Unterbricht man den Ladungsstrom, nachdem die Anode sich ganz mit Bleisuperoxyd überzogen hat, so hat man damit ein galvanisches Element hergestellt, bestehend aus Bleisuperoxyd, verdünnter Schwefelsäure, Blei. Die mit Bleisuperoxyd überzogene Platte entspricht dabei dem Kupfer in einem gewöhnlichen Zink-Kupfer-Element, die Bleiplatte dem Zink. Verbindet man die Bleisuperoxydplatte durch einen Draht mit der Bleiplatte, so strömt ein Strom in der Richtung von der Bleisuperoxydplatte durch den Draht nach der Bleiplatte. Zugleich zersetzt sich das Bleisuperoxyd im Element und das Element ist entladen, wenn das durch den Ladungsstrom vorher gebildete Bleisuperoxyd gänzlich zersetzt ist. Planté, der Erfinder des Accumulators, fand, dass durch öfteres Laden und Entladen die Bleiplatten in eine Art schwammigen Zustand versetzt werden können, vermöge dessen sie befähigt werden, bedeutend grössere Ladungen in sich aufzunehmen.

Hier sehen Sie eine solche Accumulatorenbatterie aus sechs einzelnen Elementen gebildet. Die Batterie ist geladen. Schliessen wir den Strom, indem wir ihre Pole mit zwei Kohlenspitzen in Verbindung bringen, so erhalten wir elektrisches Licht. Eine geladene Batterie hält ihre Ladung einen oder zwei Tage ziemlich ungeändert fest. Man kann sie daher benutzen, um zu geeigneten Momenten elektrische Kraft anzusammeln und um sie zu gelegener Zeit zu verwenden. Ein solcher Fall tritt z. B. ein bei einer Fabrik, welche nur während des Tages mit einer Dampfmaschine arbeitet. Mit sehr geringen Mehrkosten kann man dann während der Tageszeit eine Dynamomaschine mit treiben lassen, und ihren Strom zur Ladung einer Accumulatorenbatterie benutzen. Am Abend, wo die Dampfmaschinen stille stehen, besitzt man alsdann einen Kraftvorrath, der zur Beleuchtung benutzt werden kann.

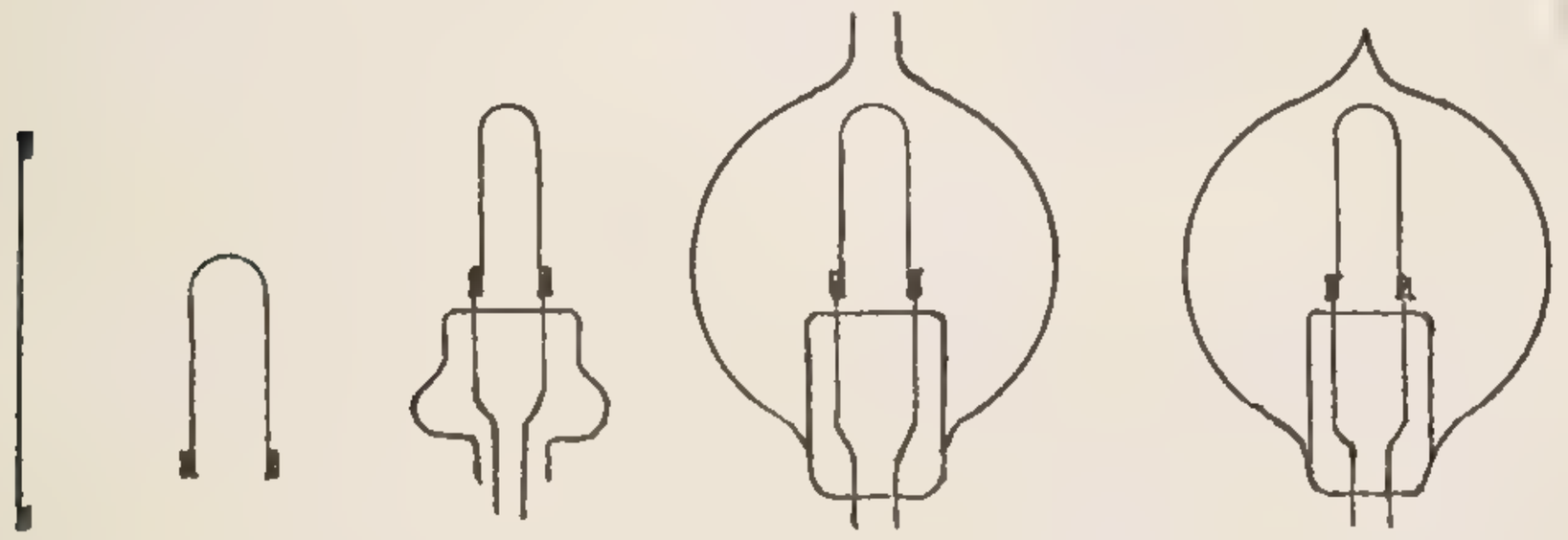
Nicht bloss die Möglichkeit, elektrischen Kraftvorrath ansammeln zu können, macht die Accumulatoren interessant (die Ansammlung ist jedoch immer mit einem beträchtlichen Verluste verknüpft, da die Accumulatoren ungefähr nur 40 bis 50 Proc. von dem aufgewandten Strome wieder abgeben), sondern auch dadurch, dass durch sie die Möglichkeit gegeben ist, Elektricität von niedriger Spannung in Elektricität von höherer Spannung umzusetzen. Jedes Accumulatorenelement lässt sich schon vermittelst zweier Bunsen'schen Elemente vollständig laden. Setzt man nun z. B. zehn solcher so geladenen Accumulatorenelemente zu einer Batterie zusammen, so hat man eine elektrische Spannung zur Verfügung, wie sie einer galvanischen Batterie von nahe 12 Bunsen-Elementen entspricht.

Das Glühlicht verdankt seine Entstehung der Wärmewirkung des galvanischen Stromes. Ein durch einen dünnen Draht fliessender Strom erzeugt in diesem Wärme; ist der Strom stark genug, den Draht bis zur Weissgluth zu erhitzen, so strahlt derselbe neben der Wärme auch blendendes Licht aus. Schon von Moleyns an, im Jahre 1841, hat man sich vielfach beschäftigt, auf diese Eigenschaft des galvanischen Stromes Glühlampen zu gründen. Doch gelang es erst Swan und Edison, wirkliche, in der Praxis taugliche Lampen herzustellen, indem sie ein Verfahren entdeckten, äusserst dünne und dabei haltbare Fäden aus Kohle herzustellen. Dass gerade Kohle für das Glühlicht das geeignetste Material sein muss, ist leicht einzusehen. Denn einmal strahlt Kohle in der Weissgluthhitze eine grössere Lichtmenge aus, und sodann liegt sein Schmelzpunkt so hoch, dass es bis jetzt noch nicht gelungen ist, Kohle zum Schmelzen zu bringen. Dem Uebelstande, dass Kohle in der Luft sehr leicht verbrennt, begegnet man dadurch, dass man die Kohlenfäden innerhalb luftleerer Glaskugeln zum Glühen bringt, wo alsdann der zur Verbrennung nöthige Sauerstoff gänzlich fehlt. Hier ist eine Reihe Edisonlampen aufgestellt, wir wollen durch sie den galvanischen Strom schicken, und Sie sehen das glänzende Licht.

Jede dieser Lampen hat eine beschwerliche Entstehungsgeschichte durchgemacht. Um die verschiedenen Stufen vor Augen zu führen, welche jede Glühlampe vom ersten Anfang bis

zu ihrer Vollendung zu durchlaufen hat, habe ich hier ein Tableau aufgestellt — ein Geschenk der deutschen Edison-Gesellschaft in Berlin — welche die Glühlampe in ihren verschiedenen Phasen zeigt. In Fig. 74 sind die verschiedenen Theile gezeichnet. Der Kohlenbügel wird aus Bambusrohr hergestellt. Nachdem das Rohr gespalten, gehobelt und ihm die richtige Länge und Breite ertheilt worden ist, was durch sehr genaue Instrumente controlirt wird, giebt man ihm die Form eines Bügels. Sicher durchläuft derselbe dabei die geübten und geschickten Hände von zehn Ar-

Fig. 74.



beiterinnen. Er wird sodann zwischen zwei Muffen eingelegt und zur Verkohlung dem Feuer ausgesetzt. Die Enden des nun fertigen Kohlenbügels werden alsdann galvanoplastisch verkupfert und mit zwei Platindrähten, die bereits in ein Glasstück eingeschmolzen sind, verlöthet. Nachdem hierauf das Glasstück mit dem Kohlenbügel in das Innere einer unten und oben offenen Glaskugel eingeführt und mit derselben verschmolzen ist, wird die Glühlampe zur Entfernung der Luft mit einer Luftpumpe in Verbindung gebracht, und hierzu dient das Glasröhrchen, in welches die Glaskugel an ihrer oberen Seite ausläuft. Ist die Luft entfernt, so wird die Glasröhre abgeschmolzen und die Glühlampe ist fertig.

Die deutsche Edisongesellschaft in Berlin fertigt Glühlampen von verschiedener Lichtstärke, die B-Lampe mit 8, die A-Lampe mit 16 Normalkerzen Lichtstärke, Lichtstärken, wie sie bei Zimmerbeleuchtungen meist zur Anwendung kommen. Eine Strassenlaterne hat ungefähr die Lichtstärke von 16 Normalkerzen. Für Beleuchtung im Freien oder in grossen Sälen werden Glühlampen bis zu 100 Normalkerzen Lichtstärke hergestellt.

Ausser den Edisonlampen haben noch eine ganze Anzahl anderer Lampen Verbreitung gefunden, deren Unterschied nur in der Form des Kohlenbügels, in der Befestigungsweise, in der Art der Einführung in die Glaskugel, endlich in dem Material, welches zur Herstellung des Kohlenbügels angewandt wurde, besteht. Die verbreitetsten sind die Lampen von Swan und Maxim, welche in Fig. 75 und 76 dargestellt sind. In der Swanlampe wird der Kohlenbügel durch Verkohlung eines Baumwollfadens, bei der Maximlampe durch Verkohlung eines Streifens Bristolpapiers erhalten.

Fig. 75.

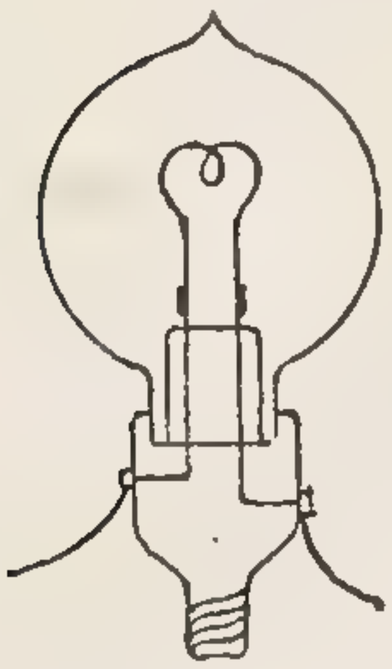
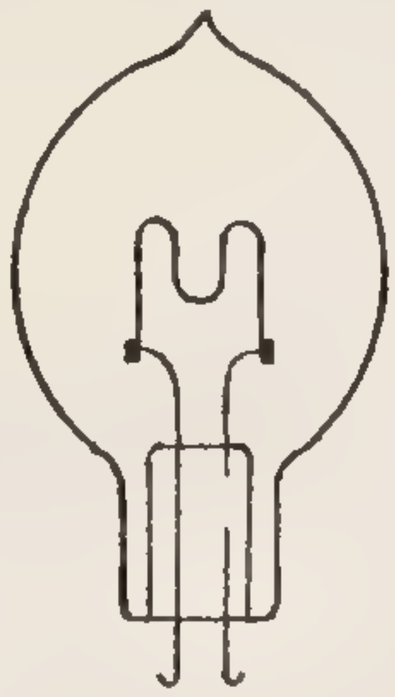


Fig. 76.

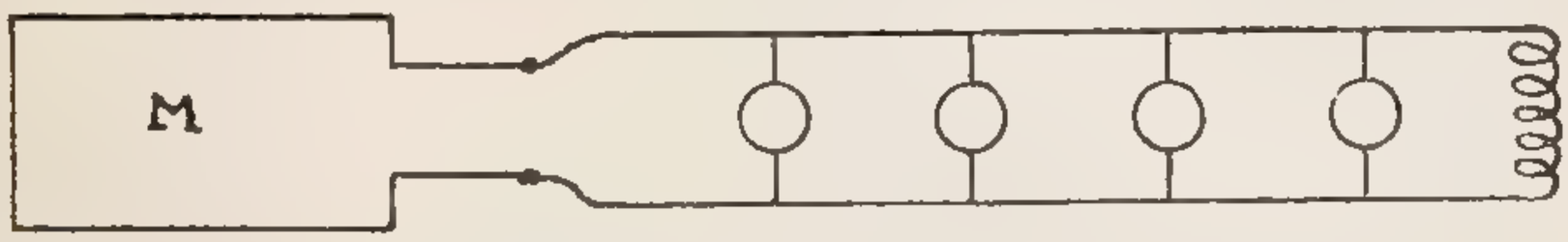


Obgleich sich bei allen diesen Lampen der Kohlenbügel im leeren Raum befindet und folglich keine Verbrennung stattfinden kann, werden dieselben doch allmälig durch den Strom selbst zerstört, indem derselbe kleine Kohlenpartikelchen vom Bügel ablöst. Die Lebensdauer dieser Lampen ist daher durch eine gewisse Anzahl Brennstunden begrenzt. Bei normaler Lichtstärke ist die Dauer der Edisonlampen durchschnittlich 800 Brennstunden.

Bei dem Betriebe der Glühlampen stellt sich eine eigenthümliche Schwierigkeit ein. Der Widerstand, den der dünne Kohlenbügel dem galvanischen Strome entgegensetzt, ist sehr beträchtlich, und daher kommt es, dass, wenn man sich einer Dynamomaschine zur Stromerzeugung bedient und in deren Stromkreis eine Glühlampe einschaltet, die letztere meistens gar nicht zum Glühen kommt. Es erklärt sich dies dadurch, dass der beträchtliche Widerstand der Lampe den Strom auf eine so geringe Stärke herabdrückt, bei welcher ein Glühen nicht mehr eintreten kann. In noch höherem Grade tritt dies ein bei Einschaltung von mehreren Glühlampen. Diesem Uebelstande kann man aber durch Stromverzweigung begegnen. Man schaltet, wie Fig. 77 zeigt, die Glühlampen nicht hinter einander, sondern neben einander. Der von der Maschine ausgehende Strom theilt sich dann in eben so viele Zweigströme, als Lampen eingeschaltet sind, wo-

durch der Gesammtwiderstand bedeutend verringert wird. Zweckmässig ist es, noch einen Rheostaten in die Leitung einzuschalten, d. h. eine Vorrichtung, welche gestattet, nach Belieben grössere oder kleinere Widerstände einzuschalten. Man kann dadurch

Fig. 77.




die Stromstärke leicht reguliren. Hier steht ein solcher für Maschinenströme berechneter Rheostat. Er wurde in der Werkstätte der physikalischen Abtheilung selbst angefertigt. Durch Drehung der Kurbel wird in die Leitung Widerstand ein-, resp. ausgeschaltet.

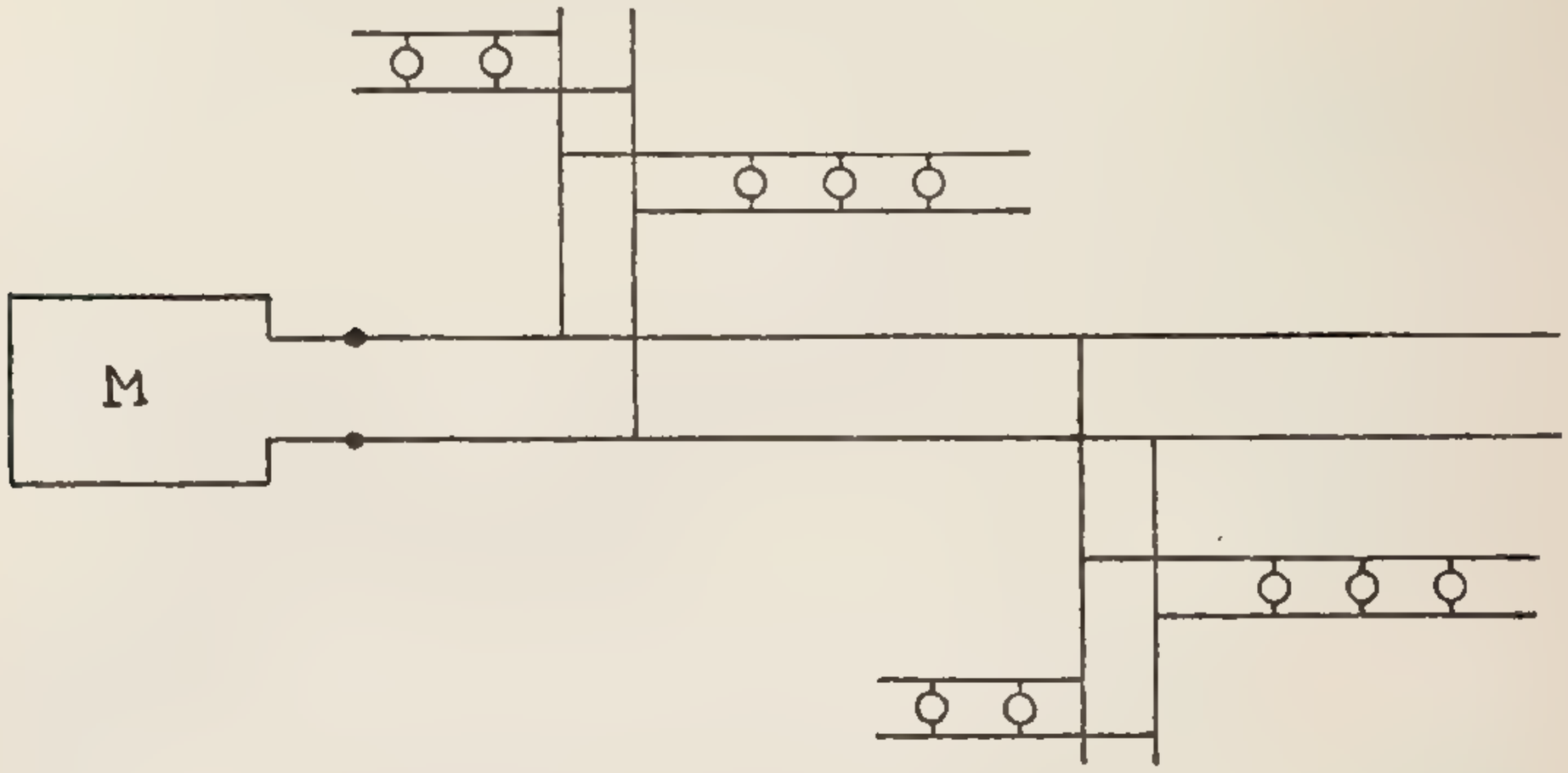
Die Idee, ganze Städte von einem Centralpunkte aus zu beleuchten, indem man, wie bei den Gasleitungen, ganze Stromnetze herstellt, von denen Leitungen in die Häuser zu elektrischer Beleuchtung abgezweigt werden, hat Edison in New-York bereits zur Ausführung gebracht. Edison hat längs der Strassen New-Yorks Leitungen gelegt, die er zum Schutze in Gasröhren einschliesst. Fig. 78 stellt den Querschnitt einer solchen Leitung dar. Das Gasrohr umschliesst zwei dicke Cylindersegmente aus Kupfer, die von dem Gasrohr und unter sich durch Isolirmaterial getrennt sind. Durch den einen Kupferstrang wird der Strom von der Centralstation fort, durch den anderen zu der Centralstation hin geleitet. Von der Hauptleitung zweigen sich Nebenleitungen, wie Fig. 79 (a. f. S.) zeigt, in die Nebenstrassen und in die Häuser ab. Ich habe hier ein Verbindungsstück von kleinerer Grösse für solche Strassenleitungen zur Ansicht ausgestellt, wie dasselbe von der deutschen Edisongesellschaft angewendet wird. Man kann an ihm die beiden Kupferstränge deutlich sehen.

Fig. 78.

Keine geringe Schwierigkeit bereitete anfänglich bei diesen grossartigen Anlagen der Umstand, dass bei plötzlicher Entzündung einer grossen Anzahl Lampen oder bei ihrem Auslöschen in dem Stromnetze erhebliche Schwankungen in der Stromstärke eintraten. Durch besonders angestellte Stromcontroleure konnte

ein Ausgleich doch nicht mit der Sicherheit und Geschwindigkeit erreicht werden, welche bei Anlagen, die für die Oeffentlichkeit bestimmt sind, verlangt werden muss. Die Entdeckung der Compoundmaschine hat aber diese Schwierigkeit gehoben, durch

Fig. 79.




sie werden Ströme erzeugt, deren Stärke unverändert dieselbe bleibt, gleichgültig ob eine ganze Anzahl Lampen gleichzeitig in den Stromkreis ein- oder ausgeschaltet werden. Ob künftig die elektrische Beleuchtung die Rolle unserer heutigen Gasbeleuchtung übernehmen wird, ist eine technische Frage, die nur durch praktische Versuche endgültig entschieden werden kann.

Ich bin hiermit bei dem Schlusse dieses Cyclus von Vorträgen angelangt. Ich hatte mir vorgenommen, in kurzen und dicken Strichen die Hauptanwendungen des galvanischen Stromes zu skizziren. Ist es schon heute nicht leicht, einen Pfad durch das Labyrinth von Erscheinungen und Thatsachen der Elektricitätslehre zu finden, wie wird es nach 50, nach 100 Jahren damit stehen, wo ohne Zweifel das Feld, welches durch die einfache Entdeckung Galvani's und Alexander Volta's eröffnet wurde, durch ganze neue Anwendungen erweitert sein wird. Es bleibt mir nur noch übrig, für das Wohlwollen, welches Sie diesen Vorträgen entgegengetragen haben, Ihnen meinen Dank auszusprechen.

# Fünfter Vortrag.

## Ueber das Perpetuum mobile.

---

Wenn heute Jemand aufträte und behauptete, er könne aus Nichts Materie erzeugen, er könne durch irgend welche Manipulationen die bereits vorhandene Materie vergrössern, so würde man ihn für unzurechnungsfähig halten. Stellt doch die Chemie als obersten Grundsatz hin, die in der Natur vorhandene Materie könne von uns ebenso wenig vernichtet als erzeugt werden. Freilich kann die Materie durch physikalische und chemische Processe unzählig viele verschiedene Formen annehmen, es kann sich Materie von einer Form in Materie von anderer Form verwandeln, immer bleibt aber dabei die Quantität der Materie ungeändert. Wir können diesen Grundsatz der Chemie das Gesetz von der Erhaltung der Materie nennen. Es drückt aus, dass alle Materie, welche sich einmal in der Welt befindet, auch immer in derselben bleiben wird, welche Verwandlungen mit ihr auch vorgehen mögen.

Es war am Ende des vorigen Jahrhunderts, als namentlich Lavoisier, Gay-Lussac, und andere um die Wissenschaft hochverdiente Männer dieses Gesetz aufstellten und durch Versuche begründeten. Sie sind es, welche der Chemie erst das feste Fundament gegeben haben, auf welches sich die heutige Chemie aufbaut.

Eine ganz entsprechende Entwickelungsperiode hat sich in aller Stille seit Anfang unseres Jahrhunderts in der Physik vollzogen oder, da dieselbe noch lange nicht als abgeschlossen betrachtet werden darf, sie vollzieht sich heute noch. Durch gewisse

scheinbar unbedeutende Erscheinungen in dem Gebiete der Wärmelehre wurde man zu einem Naturgesetze geführt, nach welchem nicht nur die Veränderungen und Umwälzungen in der gesammten unorganischen Natur vor sich gehen, sondern, welches tief, bis zu noch nicht festgestellten Grenzen in das Leben der organisirten Welt eingreift, welches nicht bloss die Naturerscheinungen auf unserer Erde, sondern ebenso diejenigen des ganzen Universums zu beherrschen scheint. Dieses das ganze Weltall umfassende Gesetz ist das Gesetz der Erhaltung der Energie, oder das Gesetz, welches behauptet: es ist weder möglich, Energie zu erzeugen, noch zu vernichten.

Mit diesem Naturgesetze steht nun die Frage nach der Möglichkeit oder Unmöglichkeit des Perpetuum mobile in innigstem Zusammenhange. Ist nämlich jenes Gesetz richtig, so ist das Perpetuum mobile unmöglich und umgekehrt ist die Herstellung eines Perpetuum mobile möglich, so muss das Gesetz von der Erhaltung der Energie nothwendig falsch sein.

Es ist uns hierdurch der Weg vorgezeichnet, den wir einzuschlagen haben, um die Unmöglichkeit des Perpetuum mobile darzuthun. Wir haben nachzuweisen: 1) dass ein solcher Zusammenhang besteht, und 2) dass das Gesetz der Erhaltung der Energie in der Natur allgemeine Geltung habe. Es fragt sich zunächst, was ist Energie?

Der Begriff der Energie in der Naturwissenschaft ist aus der geistig-sittlichen Welt entlehnt. Fragen wir uns, wodurch unterscheidet sich ein mit Energie beseelter Mensch von dem energielosen, so müssen wir antworten, ein mit Energie beseelter Mensch befindet sich in einem Zustande der Anspannung seiner geistigen oder körperlichen Kräfte, der ihn befähigt, geistige oder körperliche Handlungen, geistige oder körperliche Arbeit zu verrichten. Hat Jemand die Eigenschaft, sich öfters in diesen Zustand zu versetzen, so nennt man ihn energisch. Die Energie ist also zunächst ein Zustand, und jeder weiss aus Erfahrung, wie leicht der Zustand der Anspannung demjenigen der Abspannung Platz machen, wie Energie mit Energielosigkeit wechseln kann.

In der heutigen Naturwissenschaft sieht man nun gewissermaassen nicht bloss die organisirten, sondern auch die Körper der unorganischen Welt als lebende Wesen an. Ebenso wie dem

Menschen bei seiner Geburt körperliche und geistige Anlagen eingepflanzt sind, welche auf den späteren Lebensweg den grössten Einfluss haben, so sind auch jedem unorganischen Körper Entwickelungskeime, d. h. Eigenschaften und Kräfte, mitgetheilt, welche ihn befähigen, seinen Zustand im Laufe der Zeit zu verändern. Freilich — und hier findet ein wesentlicher Unterschied zwischen geistigem Wesen und Naturkörpern statt — es sind die Veränderungen des unorganischen Körpers von den zufälligen Umständen, in die er hineingeräth, abhängig, er ist ein Spielball des Zufalls, während dem geistigen Wesen seelische Kräfte mitgegeben sind, um in den Lauf der Ereignisse thätig einzugreifen.

Ohne also dem Materialismus zu huldigen, dürfen wir jedem Naturkörper ein gewisses Leben beilegen und annehmen, er könne unter Umständen Energie, d. h. die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten, besitzen.

Ehe ich Ihnen nun einige Körper vorführe, welche sich im Zustande der Energie befinden und welche demnach Arbeit verrichten können, muss ich noch zuvor den Begriff der Arbeit kurz besprechen.

So verschiedene Arbeiten wir auch im täglichen Leben verrichten sehen, alle kommen darin überein, dass bei der Arbeit irgend ein Widerstand überwunden wird, dass der Angriffspunkt um eine gewisse Weglänge der widerstehenden Kraft entgegen verschoben wird. Wenn z. B. der Schmied seinen Hammer hebt, so verschiebt er den Hammer, d. h. den Angriffspunkt der Schwerkraft, in einem ihr entgegengesetzten Sinne, er verrichtet also beim Heben des Hammers Arbeit. Wenn Jemand Holz sägt, so verschiebt er das Sägeblatt gegen die widerstehende Kraft, welche in der Cohäsion, in der Kraft des Zusammenhanges der Holzfasern besteht. Dasselbe findet statt, wenn der Schlosser feilt, der Schreiner hobelt. — Es liessen sich leicht noch hundert andere Beispiele aufzählen, aber wir ersehen schon aus den angeführten, dass die Grösse der Arbeit von zwei Umständen abhängt, nämlich erstens von der Kraft, durch welche der Widerstand überwunden wird, zweitens von der Grösse der Verschiebung. Das Product aus Kraft in die Verschiebung bildet das Maass für die Arbeit. Man misst nun die Kräfte nach Kilo-

grammen, die Verschiebungen nach Metern und erhält so die Arbeit ausgedrückt in Kilogrammmetern. 1 Kilogrammmeter bezeichnet dabei diejenige Arbeit, welche man aufwenden muss, um 1 Kilogramm gerade 1 Meter hoch zu heben.

Betrachten wir jetzt einige Beispiele, wo Körper Energie besitzen. Jeder in einer bestimmten Höhe über dem Erdboden befindliche Körper besitzt Energie!

Hier befindet sich an diesem Ständer in einer gewissen Höhe über dem Boden ein Gewicht; dasselbe ist durch einen Schieber unterstützt, so dass es nicht herabfallen kann. Das Gewicht ist mit einem Faden verknüpft, welcher über eine leicht bewegliche Rolle führt und an seinem anderen Ende ein zweites, dem ersten nahe gleiches Gewicht trägt. Wird der Schieber zurückgeschoben, so sinkt das obere Gewicht langsam zum Erdboden, während gleichzeitig das zweite Gewicht gehoben wird. Ist das fallende Gewicht am Erdboden angelangt, so hat es seine Energie verloren, dafür hat es aber Arbeit verrichtet. Es hat das zweite Gewicht vom Erdboden bis zu der Höhe, welche es selbst ursprünglich besass, empor gehoben.

In diesem schmiedeeisernen Gefäss befindet sich comprimirte Luft. Die Luft besitzt Energie! Denn öffnet man den Hahn, so strömt die Luft mit grosser Gewalt hervor. Lässt man sie gegen ein Windrad strömen, so wird die Arbeit, welche sie verrichtet, wahrnehmbar.

Unsere Atmosphäre ist comprimirte Luft. Um die Energie, welche in ihr steckt, sichtbar zu machen, stellen wir einen unten offenen, oben mit einer dünnen Blase überspannten Glascylinder auf die Luftpumpe und entfernen aus dem Glase die Luft. Die der Luft innewohnende Energie überwindet den Widerstand der übergespannten Blase und stürzt sich mit grosser Gewalt in den leeren Raum hinein.

Bei der Windbüchse ertheilt gleichfalls die Energie comprimirter Luft der im Laufe des Gewehres enthaltenen Kugel ihre Geschwindigkeit. Hier bildet der Kolben das schmiedeeiserne Gefäss, welches die Luft enthält. Beim Niederdrücken des Drückers wird ein Ventil plötzlich geöffnet und die hervorstürzende Luft treibt die Kugel aus ihrem Laufe.

Ganz derselbe Vorgang vollzieht sich auch in jeder mit

Pulver geladenen Büchse, nur sind hier die comprimirten Pulvergase die Bewegungsursache, die sich bei Entzündung des Pulvers bilden. Wir schliessen daraus, dass auch Pulver ein Körper ist, welcher Energie besitzt.

Energie besitzen überhaupt alle Körper, welche im Stande sind, chemische Verbindungen einzugehen! In diesem kleinen Blechgefässe, elektrische Pistole genannt, befindet sich z. B. ein Gemenge von Sauerstoff und Wasserstoff. Die Erhitzung des Gemenges an irgend einer Stelle genügt, um die in den Gasen aufgespeicherte Energie deutlich wahrnehmbar zu machen. Die Erhitzung bringen wir durch einen elektrischen Funken hervor, den wir durch das Gas hindurch schlagen lassen.

Endlich befindet sich dort eine sogenannte elektrische Batterie. Wir laden dieselbe mit Elektricität. Im geladenen Zustande besitzt sie Energie. Entladen wir sie, so bricht sich die Elektricität Bahn durch die Luft. Ihre Energie offenbart sich durch Erzeugung von Schall und Licht.

Bei den angeführten Beispielen beruhte die Energie auf der Lage, entweder des ganzen Körpers, wie bei dem gehobenen Gewicht — oder auf der Lage und Anordnung der einzelnen Molecüle im Körper, wie bei der comprimirten Luft, dem Pulver, der Elektricität. Man hat Energie, welche in der Lage und Anordnung der Theile ihren Grund hat, Energie der Lage oder potentielle Energie genannt.

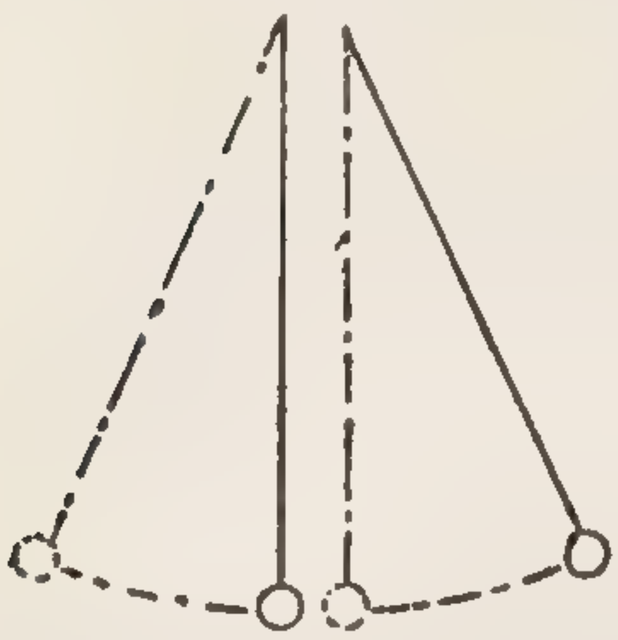
Aber die Körper zeigen noch in einem zweiten, von dem betrachteten ganz verschiedenen Zustande Energie.

Jeder in Bewegung befindliche Körper besitzt ebenfalls Energie! Wer hieran zweifeln wollte, der möge neben einem unserer Bahngleise Aufstellung nehmen und einen Schnellzug an sich vorüber brausen lassen. Welche enorme Energie in einem solchen Zuge angehäuft ist, das zeigt sich bei den leider in letzter Zeit so häufig eingetretenen Entgleisungen. In wenigen Secunden sind die aus starken Eisenbarren und Holzbohlen erbauten Wagen in einen Trümmerhaufen verwandelt.

Wir wollen die Energie der Bewegung oder die lebendige Kraft, wie man diese zweite Art von Energie genannt hat, an vorstehendem Apparat nachweisen. Es sind hier, Fig. 80 (a. f. S.), zwei Kugeln aus Elfenbein an Fäden aufgehangen. Hebt man die eine

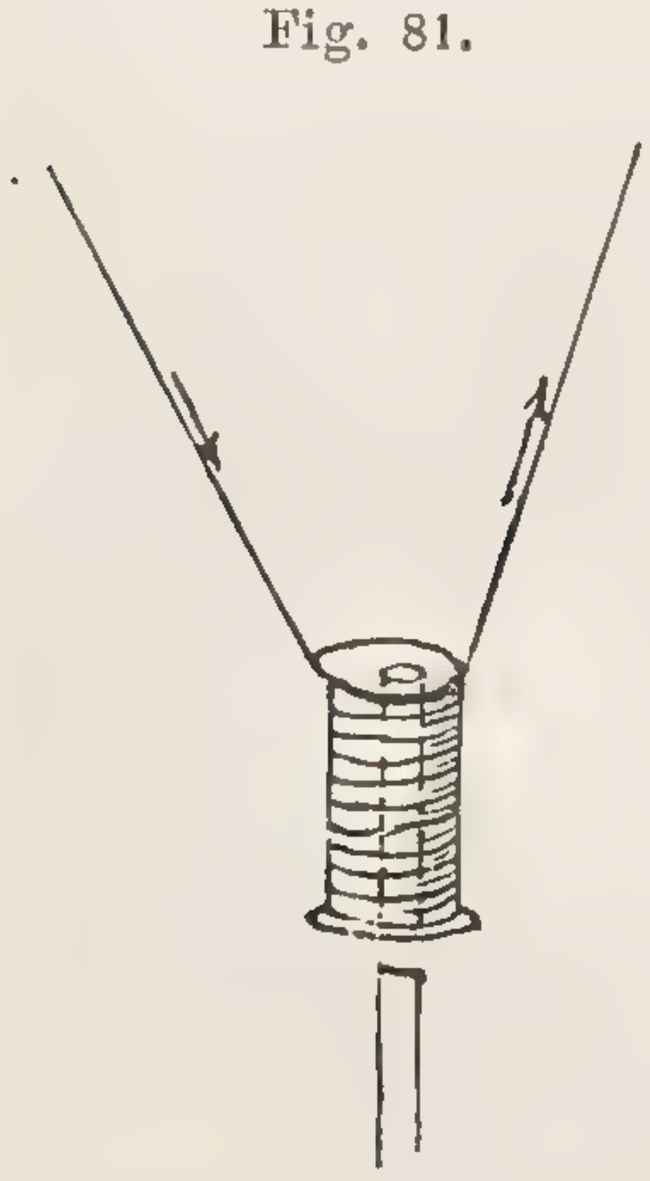
derselben in die Höhe und lässt sie fallen, so beschreibt sie einen Kreisbogen und kommt mit einer gewissen Geschwindigkeit bei der zweiten Kugel an. Sie besitzt also in diesem Augenblick eine gewisse Bewegungsenergie. Sie stösst gegen die zweite Kugel und bringt Arbeit hervor. Sind die Kugeln, wie hier, gleich gross und nahezu vollkommen elastisch, so verliert die stossende Kugel ihre ganze Energie, d. h. sie kommt zur Ruhe, während die gestossene bis zu einer Höhe gehoben wird, welche vorher die stossende Kugel besass. Das Spiel wiederholt sich, wenn wir die gestossene Kugel sich rückwärts bewegen lassen und würde sich in alle Ewigkeit fortsetzen, wenn wir den Versuch im leeren Raume anstellten und ganz vollkommen elastische Kugeln besässen.

Fig. 80.



Ein anderes Beispiel, wo sich Energie der Bewegung zeigt, bildet der galvanische Strom. Hier hängt eine Rolle, Fig. 81, welche durch mehrere Umwindungen eines Kupferdrahtes gebildet wird. In der Mitte derselben befindet sich ein cylindrischer Hohlraum. Die Enden der Rolle setzen wir mit galvanischen Elementen in Verbindung und erzeugen dadurch in der Rolle einen galvanischen Strom. Dieser Strom besitzt Energie! Denn nähert man der Rolle von unten einen kleinen Eisenstab, so sehen Sie, dass er gehoben wird und dass er dann in der Luft schweben bleibt. Der galvanische Strom verrichtet bei der Hebung des Eisenstabes Arbeit! In dem Augenblick, wo der Strom unterbrochen wird, sinkt der Stab in Folge der Schwere wieder herab, um bei Stromschluss wieder von Neuem zu steigen.

Fig. 81.



Andere Bewegungsenergien sind das Licht, der Schall und vor Allem die Wärme, deren Fähigkeit, Arbeit zu leisten, die Dampfmaschine zur Genüge beweist.

Die Energie tritt also in der Natur in zwei verschiedenen Formen auf: 1) als Energie der Lage, 2) als Energie der Bewegung.

Wir gehen nun über zu der Beantwortung der Frage, in welchem Zusammenhange steht die Energie mit dem Perpetuum mobile.

Das Perpetuum mobile ist eine Maschine, welche, ohne eine besondere Triebkraft zu fordern, nicht nur sich selbst in dauernder Bewegung erhält, sondern welche ausserdem eine andere mit ihr verbundene Maschine treiben soll. Man hatte sich der Hoffnung hingegeben, eine Maschine zu erfinden, vermittelst welcher man ohne Aufwand an Energie Arbeit erzeugen könnte. Die Muskelkraft des Menschen, des Pferdes wäre alsdann geschont, die Kohlen gespart worden, die prosaischen Fabrikschornsteine wären vom Erdkreis verschwunden und der Lauf der Flüsse, der Waldbäche nicht durch Stauungen und Wehre gestört worden. Die praktischen Versuche, das Ideal zu verwirklichen, stimmten aber gar bald die Hoffnungen bedeutend herab. Man begnügte sich mit Versuchen, eine Maschine herzustellen, welche zunächst nur sich selbst in dauernder Bewegung erhielt, wiewohl ein solches Perpetuum mobile zweiter Art praktisch gar keinen Nutzen, sondern nur theoretisches Interesse gehabt haben würde. Und hatte man nicht einige Aussicht, wenigstens das Räthsel für diese zweite Art von Perpetuum mobile zu lösen? Hatte man doch in der Natur ein grossartiges Beispiel eines solchen Perpetuum mobile, unser Planetensystem. Der Jupiter, der Mars, die Venus, unsere Erde u. s. f. haben schon millionenmal und abermillionenmal ihren Umlauf um die Sonne vollzogen, und doch ergaben astronomische Beobachtungen, dass sie jeden Umlauf immer wieder mit derselben Geschwindigkeit, mit derselben Energie von Neuem antreten. Nur technische Schwierigkeiten schienen der Ausführung entgegen zu stehen. Ein einfaches Schwungrad im leeren Raume aufgestellt, durch einen einmaligen Stoss in Bewegung gesetzt, dabei die Reibung an den Zapfenlagern vollständig vermieden, und das Problem wäre gelöst gewesen! Denn nach dem Gesetze der Trägheit, nach welchem jeder Körper in demjenigen Zustande verharrt, in dem er sich befindet, so lange keine Kräfte auf ihn wirken, muss ein solches Rad seine Bewegung in alle Ewigkeit beibehalten. Es

ist wirklich staunenswürdig, wie weit man es mit der Beseitigung der Bewegungshindernisse, der Reibung, gebracht hat. Man hat Maschinen hergestellt, welche stundenlang, ja ganze Tage hindurch ihre Bewegung beibehielten, bis sie endlich doch zum Stillstande gelangten. Alle Versuche aber, die Reibung gänzlich zu beseitigen, sind gescheitert! Die Reibung lässt sich nicht fortschaffen! Selbst unser Planetensystem, das einzige Beispiel eines Perpetuum mobile, haben die neueren Untersuchungen für nicht stichhaltig erklärt. Der Enke'sche Komet zieht immer kleinere und kleinere Ellipsen um die Sonne, weil er sich bei seiner Bewegung an dem im Weltraume befindlichen Lichtäther reibt. Was für ihn gilt, gilt ebenso für unsere Erde, für alle Planeten, wenn auch bei ihnen in der kurzen Spanne Zeit, seit welcher Menschen leben, oder in der noch kürzeren, seit der Beobachtungen angestellt wurden, eine Abnahme der Bewegungsenergie nicht hat wahrgenommen werden können.

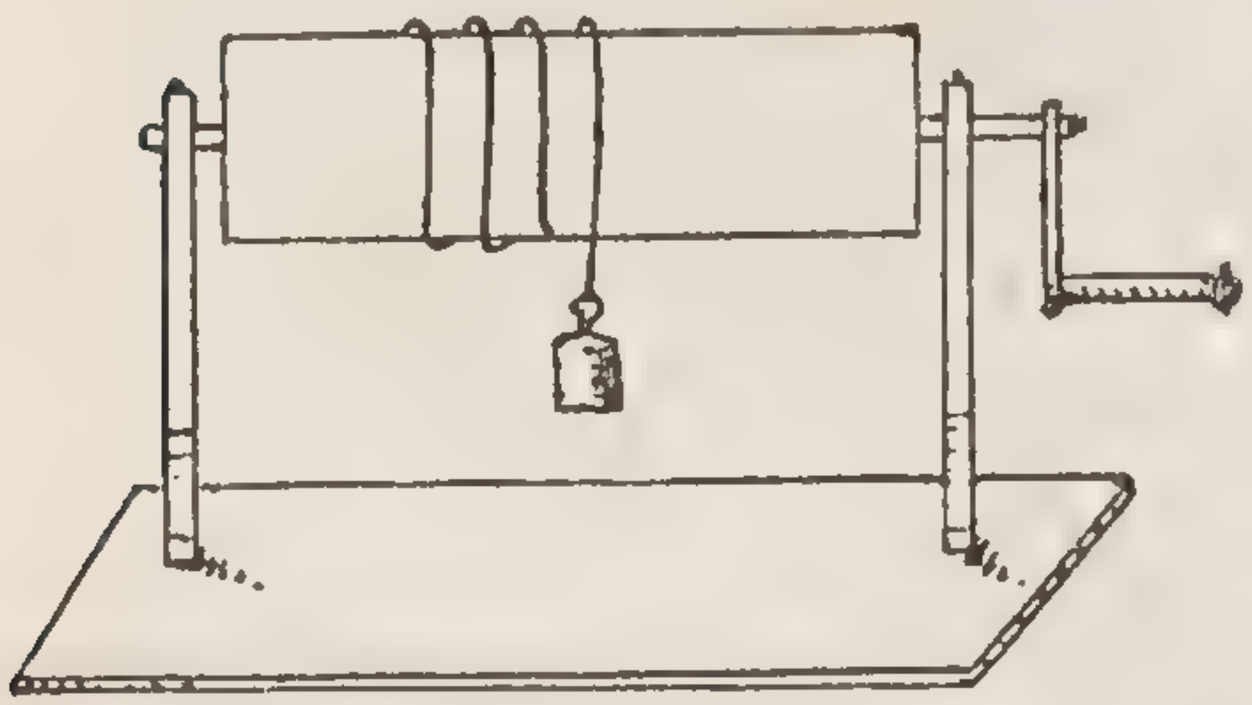
Ist die Reibung nicht fortzuschaffen, so muss man ihr bei Construction des Perpetuum mobile Rechnung tragen. Die Reibung consumirt Energie; darin liegt ja der Grund, warum das vorher besprochene Rad zur Ruhe kommt. Soll dessen ungeachtet eine dauernde Bewegung stattfinden, so muss die consumirte Energie in jedem Augenblicke wieder ersetzt werden, und da hierzu eine äussere Triebkraft nicht angewendet werden soll, so muss sie die Vorrichtung selbst schaffen. Es muss Energie durch die Maschine aus nichts erzeugt werden, und hier haben Sie den Widerspruch, in dem das Perpetuum mobile zu dem Gesetz der Erhaltung der Energie steht.

Unsere Betrachtungen haben uns von selbst wieder zu dem Perpetuum mobile der ersten Art zurückgeführt. Ein Perpetum mobile ist nur möglich, wenn es gelingt, eine Maschine herzustellen, welche Energie erzeugt; ein Theil dieser erzeugten Energie würde zu der Ueberwindung der Reibung verbraucht werden, der übrig bleibende Theil könnte an eine zweite Maschine übertragen und zur Arbeitsleistung benutzt werden. Geschähe letzteres nicht, bliebe das Perpetuum mobile sich selbst überlassen, so würde die Energie in der Maschine sich aufspeichern, sie würde von selbst immer rascher und rascher laufen, um endlich in Stücke zu zerfliegen.

In unserer Zeit, dem Zeitalter der Maschinen, wo wir täglich die gewaltigsten, in anderen Fällen wieder die feinsten Arbeiten durch Maschinen verrichtet sehen, ist man nur allzusehr geneigt, ihnen Eigenschaften zuzutrauen, die sie in Wirklichkeit nicht besitzen. Lassen Sie uns der Frage näher treten, ob durch eine Maschine Energie erzeugt werden kann oder nicht.

Jede Maschine besitzt einen Theil, durch welchen sie Energie aufnimmt. Bei der Dampfmaschine ist dies der Kolben im Dampfcylinder, bei der Windmühle der Windmühlenflügel, bei der Wassermühle das Rad u. s. w. Ein zweiter Theil der Maschine hat die Aufgabe, Energie an die zu verarbeitenden Körper abzugeben — bei der Mühle z. B. die Mühlsteine, welche die Getreidekörner zerreiben. Ueberhaupt ist jede künstliche Vorrichtung, welche die an einer Stelle einwirkende Energie auf eine andere Stelle zu übertragen vermag, eine Maschine. Die Werkzeuge sind Maschinen! Der Meissel z. B., auf dessen Griff durch einen Stoss Energie übertragen wird, pflanzt dieselbe auf die Schneide fort und die Schneide verrichtet beim Eindringen in Holz oder Stein Arbeit.

Fig. 82.



Als einfaches Beispiel wollen wir die hier Fig. 82 vorstehende Winde betrachten. Bei ihr nimmt die Kurbel die Energie, welche ihr durch den Arm mitgetheilt wird, in sich auf. Durch die um die Welle herumgeschlungene Schnur überträgt sie dieselbe an das Gewicht. Jedem der Kurbel mitgetheilten Quantum Energie entspricht eine Hebung des Gewichtes um eine gewisse Höhe. Ist nun die an das Gewicht übertragene Energie grösser als die an der Kurbel aufgenommene oder nicht? Das ist die Principienfrage, welche über das Sein und Nichtsein des Perpetuum mobile entscheidet!

Wäre die an das Gewicht übertragene Energie grösser als die aufgenommene, d. h. hätte die Maschine selbst Energie er-

zeugt, so brauchten wir nur die Energie an Stelle auf das Gewicht, durch Riemen und Wellen oder durch Räder wiederum auf die Kurbel zu übertragen. Wir hätten alsdann einen Kreislauf hergestellt. Bei jeder Umdrehung profitirten wir Energie und bald würde die Maschine mit zunehmender Geschwindigkeit sich selbst bewegen.

Wir wissen, dass dies nicht der Fall ist. Der Gewinn der Maschine an Energie durch Aufnahme und der Verlust an Energie durch Abgabe ist genau gleich. Die Differenz ist genau gleich Null.

Ebenso wie diese Maschine verhalten sich aber alle Maschinen, sie mögen so complicirt sein wie sie wollen. Treten Sie in Spinnereien und betrachten Sie die Hunderte und Tausende von Rollen, Walzen, Rädern und Rädchen, die sich mit unglaublicher Geschwindigkeit drehen, die Schiffchen, welche durch die Maschine hin und her geworfen werden, betrachten Sie die Schnellpressen, welche die Zeitungen nicht bloss gedruckt, sondern gefalzt und beschnitten zu Tage fördern. Blicken Sie in das Getriebe des künstlichsten Chronometers! Alle diese Maschinen sind in letzter Instanz nichts Anderes, als eine Combination von nur zwei einfachen Maschinen, des Hebels und der schiefen Ebene. Die Gesetze dieser beiden zuletzt genannten Maschinen sind aber schon lange bekannt, für sie wissen wir ganz bestimmt, dass stets die aufgenommene und abgegebene Energie genau gleich ist. Wir kommen mithin zu dem Resultat: Jede Maschine überträgt nur die Energie von einer Stelle zur anderen, sie selbst bringt nie und nimmer Energie hervor!

Eine gewisse Classe von Maschinen scheinen jedoch von dieser Regel eine Ausnahme zu machen, es sind dies solche Maschinen, welche namentlich zum Heben grosser Lasten benutzt werden. Als die alten Aegypter ihre Colossal-Bauten ausführten, von denen noch heute die Pyramiden ein imposantes Zeugniss ablegen, mussten die Kräfte von Tausenden von Sclaven in Anspruch genommen werden, um Quadern und Steinblöcke von enormem Gewicht auf diejenigen Stellen zu heben, an denen sie beim Bau ihren Platz finden sollten. Heute hat es keine Schwierigkeit, die gleiche Leistung von verhältnissmässig ganz wenigen Arbeitern verrichten zu lassen.

Die Winde und der Flaschenzug heissen die Maschinen, welche es möglich machen, mit geringen Kräften grosse Wirkungen hervorzubringen.

Der bereits von Archimedes 287 vor Christi Geburt entdeckte Flaschenzug, Fig. 83, besteht aus einer Reihe von Rollen, welche neben einander oder unter einander liegend die beiden sogenannten Flaschen bilden. Eine Schnur oder im Grossen ein Seil ist um die correspondirenden Rollen der oberen und der unteren Flasche herumgeschlungen. Hängen wir an die untere Flasche 1 kg, an das Ende der Schnur $^1/_6$ kg, so findet Gleichgewicht statt. Bestände der Flaschenzug nicht aus 6, sondern aus 10 Rollen, so würde schon der zehnte Theil eines Kilogramms Gleichgewicht herbeiführen. Man sieht nun leicht ein, dass, wenn wir das an dem Ende des Fadens wirkende Gewicht eine Spur grösser als $^1/_6$ kg machen, alsdann kein Gleichgewicht mehr stattfinden kann. Es wird das kleine Gewicht sich senken, das grosse dagegen gehoben werden. Wir haben in der That eine Last von einem ganzen Kilogramm unter Anwendung von einer Kraft von nur $^1/_6$ kg gehoben, dies giebt also $^5/_6$ kg Krafterspariss. Haben wir aber in Wirklichkeit bei diesem Vorgange an Arbeit einen Profit gemacht?

Fig. 83.

Nehmen wir der Einfachheit halber an, wir heben das Kilogramm gerade einen Meter hoch. Dann muss sich jeder der sechs Fäden, an dem dasselbe hängt, nur 1 Meter verkürzen und das kleine Gewicht muss folglich genau um 6 Meter sinken. Das Kilogramm, da es um einen Meter gehoben wird, gewinnt 1 kgm Energie. Das kleine Gewicht von $^1/_6$ kg sinkt dafür um 6 Meter, seine Energie nimmt folglich um $^1/_6 \times 6$, d. h. um 1 kgm., ab. Wir verlieren daher auf der einen Seite 1 kgm Energie und gewinnen auf der anderen Seite gleich viel. Gewinn und Verlust decken sich.

Hier steht ein kleines Modell einer Winde. An der Schnur hängt ein halber Centner oder 25 kg. Die Kurbel dreht sich mit grosser Leichtigkeit und folglich heben wir das schwere

Gewicht unter Anwendung einer äusserst kleinen Kraft. Aber Sie sehen auch, wie langsam die Hebung erfolgt, wie oft die Kurbel ihre Kreisbahn durchlaufen muss, um das Gewicht nur um einen Centimeter zu heben. Wir arbeiten mit einer viel kleineren Kraft, aber dafür um so viel länger. Auch hier zeigt eine nähere Betrachtung, dass die von der Maschine aufgenommene Energie der an das Gewicht abgegebenen immer gleich ist.

Ich hätte mir vielleicht die Vorführung der beiden Maschinen gänzlich sparen können und nur folgendes Beispiel anzuführen brauchen, um die Wirksamkeit dieser Classe von Maschinen sofort ins Klare zu stellen.

Gesetzt, wir sollten 1 Centner, also 50 kg, vom Fussboden auf einen Tisch von 1 m Höhe heben. Wir wollen annehmen, die 50 kg beständen aus 50 einzelnen Kilogrammstücken, welche auf einem Brette aufgeschichtet wären. Dann können wir, um unsere Aufgabe zu lösen, auf doppelte Weise verfahren. Wir heben entweder das Brett mit sämmtlichen 50 kg auf einmal und haben dann eine Arbeit von 50 kgm vollbracht, oder wir heben die Kilogramme einzeln hinter einander, erst das erste, dann das zweite · · ·, endlich das letzte. In dem zweiten Falle ist die verrichtete Arbeit genau dieselbe wie im ersten, nämlich 50 kgm, aber bei Hebung jedes einzelnen Kilogramms ist die Kraftanstrengung eine viel kleinere, sie muss dafür aber 50 mal wiederholt werden, so dass in Summa nichts profitirt wird.

Wir haben also thatsächlich den Nachweis gebracht, dass ein Perpetuum mobile auf rein mechanischem Wege unmöglich ist und es drängt sich die Frage auf, ist denn damit der Beweis für die Unmöglichkeit ganz allgemein geliefert?

Schon seit langer Zeit hat man die Naturkräfte in einzelne Gruppen eingetheilt, die Wärme, das Licht, Elektricität, Magnetismus, moleculare Anziehung, chemische Verwandtschaft und allgemeine Massenanziehung. Mit der im Laufe von Jahrhunderten fortschreitenden Erkenntniss, mit dem stetig wachsenden inneren Ausbau jeder einzelnen Gruppe musste der Zusammenhang zwischen ihnen mehr und mehr gelockert werden, und fast war zu fürchten, die Physik werde sich über kurz oder lang in einzelne getrennte Disciplinen, die Wärme, das Licht, die Elektricität, auflösen. Erst der neuesten Zeit war es vor-

behalten, ein Band zu entdecken, welches alle einzelnen Gruppen umfasst und die scheinbar heterogensten Naturerscheinungen wiederum in innige Verbindung mit einander setzt. Dieses Band meinen wir, wenn wir von der Verwandtschaft der Naturkräfte sprechen.

Was hatte noch vor Kurzem Wärme mit mechanischer Bewegung, mechanische Bewegung mit Elektricität, Elektricität mit chemischer Verwandtschaft u. s. f. zu thun. Heute wissen wir, dass sich alle Naturkräfte wechselseitig in einander verwandeln können, ja dass die gesammten Naturerscheinungen, wie sie uns täglich vor Augen treten, in nichts Anderem, als in fortwährenden Verwandlungen der Naturkräfte bestehen.

Haben wir aber einmal diese Erkenntniss gewonnen, so liegt der Gedanke, auf die Umwandlungsprocesse der Naturkräfte ein Perpetuum mobile zu gründen, nicht allzu fern.

Wir reihen eine Anzahl solcher Umwandlungen zu einem Ringe an einander. Wir verwandeln z. B. mechanische Bewegung in Elektricität, die gewonnene Elektricität in Wärme, die gewonnene Wärme wieder in mechanische Bewegung und haben damit den Ring geschlossen. Wäre nun die am Ende dieses Ringes hervorgehende Bewegungsenergie grösser als die am Anfange desselben aufgewandte, nun, so brauchten wir nur den Umwandlungsprocess zu wiederholten Malen durch zu machen, um Energie zu gewinnen und damit ein Perpetuum mobile zu erhalten.

Hier steht eine kleine magnet-elektrische Maschine. Wird die Kurbel gedreht, so verwandelt sich die aufgewandte Bewegungsenergie in einen galvanischen Strom. Der galvanische Strom verwandelt sich, indem er den Verbindungsdraht durchströmt, in Wärme. Dieser Umwandlungsprocess zeigt sich in besonders wahrnehmbarer Weise in einem dünnen Platindraht, der in den Stromkreis eingeschaltet ist, und der bis zur Glühhitze erhitzt wird. Anstatt nun die erzeugte Wärme sich in die Luft zerstreuen zu lassen, könnten wir dieselbe in den Dampfkessel einer kleinen Dampfmaschine überführen und durch den gebildeten Wasserdampf die Dampfmaschine und durch die Dampfmaschine wiederum die Kurbel der magnet-elektrischen Maschine treiben lassen.

Gäbe dann die Dampfmaschine an die Kurbel mehr Bewegungsenergie ab, als diese zur Umdrehung der magnet-elektrischen Maschine brauchte, so würde sich die ganze Vorrichtung nicht nur selbst in dauernder Bewegung erhalten, sie würde noch Triebkraft an andere Maschinen abgeben können.

Wirklich sind Vorschläge in der angedeuteten Richtung gemacht worden. Aber das Gesetz der Erhaltung der Energie verneint auch diese Art von Perpetuum mobile, denn durch den Ring der Umwandlungsprocesse würde, wenn auch auf andere Weise, als in den früher betrachteten Fällen, aus Nichts Energie geschaffen und das ist nicht möglich.

Sie sehen, dass dem Perpetuum mobile das Gesetz der Erhaltung der Energie immer feindlich gegenübersteht, und dass wir, um die Unmöglichkeit desselben bei allen möglichen Combinationen, welche man ersinnen kann, nachzuweisen, zeigen müssen, dass dieser Feind Recht hat.

Ein so umfassendes Naturgesetz, wie das Gesetz der Erhaltung der Energie, lässt sich nicht wie ein mathematischer Satz beweisen. Ein Beweis a priori würde offenbar nur dann möglich sein, wenn wir ein noch höheres Princip besässen, aus welchem das Gesetz als nothwendige Folge abgeleitet werden könnte. Nun bildet aber das Gesetz selbst das oberste Princip und demnach kann der Beweis nur indirect geführt werden. Wir hätten hiernach nachzuweisen, dass das Gesetz bei allen bekannten Naturerscheinungen zutrifft, dass speciell bei den Umwandlungsprocessen weder Energie gewonnen noch verloren wird, dass ferner alle aus dem Gesetze gezogenen Consequenzen sich bestätigt haben.

Ich glaube aber von einem solchen Beweise hier um so eher absehen zu dürfen, als wir damit ein Gebiet betreten würden, welches noch nicht seinen Abschluss gefunden hat und auch sobald noch nicht finden wird.

Gestatten Sie mir, dass ich Ihnen zum Schlusse einige Umwandlungsprocesse von Naturkräften vorführe, ohne dabei auf eigentliche Messungen nach Maass und Zahl einzugehen.

Jeder weiss, dass sich Eis in Wasser, Wasser in Wasserdampf verwandeln kann. Die Umwandlung erfolgt bei dem Schmelz- und Siedeprocess. Auch für die Umwandlungsprocesse

der Naturkräfte hat man besondere Namen eingeführt: so heisst der Umwandlungsprocess von Bewegungsenergie in Wärme Reibung und Stoss, der Umwandlungsprocess von mechanischer Bewegungsenergie in galvanischen Strom Magnetinduction und Voltainduction, der Umwandlungsprocess von Wärme in galvanischen Strom Thermoelektricität, der Umwandlungsprocess von Energie der Lage in Wärme Verbrennung und allgemeiner chemischer Process u. s. f. Von allen Umwandlungsprocessen ist der bekannteste die Reibung. Wie viele Streichhölzer brennen wir täglich an, ohne dabei zu bedenken, dass wir jedesmal jenen Umwandlungsprocess zur Ausführung bringen. Beim Streichen des Hölzchens gegen seine Unterlage geht ein Theil der Bewegung verloren, es verwandelt sich dieser Theil in Wärme und die Wärme leitet einen neuen Umwandlungsprocess ein, die Energie der Lage der Phosphortheilchen gegenüber den Sauerstofftheilchen der Luft verwandelt sich im Verbrennungsprocess in Licht und Wärme.

In früheren Zeiten, als man noch nichts von den Streichhölzern wusste, bediente man sich des Feuersteins und Stahles. Beim Stoss des Stahls gegen den Feuerstein übertrug sich ein Theil der Bewegungsenergie auf die vom Stahle abgerissenen Theilchen und versetzte sie in glühenden Zustand.

Eine andere Zündmaschine, das pneumatische Feuerzeug, früher gleichfalls weit verbreitet, verwandelt Bewegungsenergie durch Stoss in Wärme. Dasselbe besteht aus einer unten verschlossenen, oben offenen Röhre mit genau eingepasstem Kolben An einem Häkchen unterhalb des Kolbens befestigt man etwas Feuerschwamm. Wird der Kolben rasch in die Röhre gestossen, so wird die Luft comprimirt und der Schwamm entzündet sich.

Um Bewegungsenergie in Elektricität umzusetzen, bedienen wir uns zunächst der Elektrisirmaschine. Ein Theil der zur Drehung der Kurbel aufgewandten Bewegungsenergie geht verloren, dafür erhalten wir aber einen Strom glänzender elektrischer Funken.

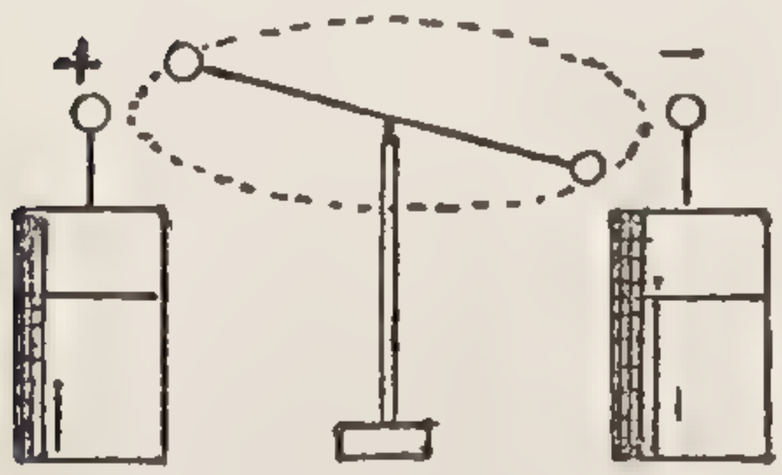
Um umgekehrt elektrische Energie der Lage in mechanische Bewegung zu verwandeln, stellen wir zwei Leydener Flaschen (Fig. 84 a. f. S.) einander gegenüber und zwischen sie einen Wagebalken aus Glas, der an seinen Enden zwei Metallkugeln trägt

und auf einer Spitze leicht drehbar ist. Wird die eine Flasche mit positiver Elektricität, die andere mit negativer Elektricität geladen, so rotirt der Wagebalken, während gleichzeitig die in den Flaschen angesammelte elektrische Energie abnimmt.

Von besonderer Wichtigkeit für die Elektrotechnik ist die Umwandlung von mechanischer Bewegung in galvanischen Strom und umgekehrt von galvanischem Strom in mechanische Bewegung. Auf diesem Doppelprocesse beruht nämlich die sogenannte Kraftübertragung durch den galvanischen Strom.

Um ein deutliches Bild von diesem Vorgange zu geben, habe ich zwei Magnetinductionsmaschinen aufgestellt. Wird auf die Kurbel der einen Maschine Bewegungsenergie übertragen, so verwandelt sich dieselbe vermittelst der ersten Maschine in galvanischen Strom, der galvanische Strom geht durch die Verbindungsdrähte in die zweite Maschine über und wird hier in Bewegungsenergie umgesetzt. Sie sehen, das Gewicht wird gehoben. Nichts liegt näher, als die in Gebirgsbächen, hoch gelegenen Wasserreservoiren, die in grossen Strömen aufgespeicherte Energie durch galvanische Ströme nach entfernt liegenden Städten und Fabriken zu übertragen. Den während der letzten Münchener elektrischen Ausstellung angestellten Untersuchungen lag der Gedanke zu Grunde, die in der reissenden Isar aufgespeicherte Energie für die Stadt München nutzbar zu machen.

Fig. 84.




Aber auch in vielen anderen Fällen, wo durch locale Verhältnisse die Dampfmaschine nicht zur Verwendung kommen darf, kann die elektrische Kraftübertragung von grossem Vortheil sein. In Bergwerken, z. B. beim Tunnelbau, kann die Dampfmaschine der schädlichen Verbrennungsgase wegen nicht unmittelbar Verwendung finden. Man benutzt deshalb zum Betriebe der Bohrmaschine comprimirte Luft oder den Druck des Wassers, welches durch lange, kostbare Rohrleitungen der Maschine zugeführt wird. In der Münchener Ausstellung befand sich eine durch Elektricität getriebene Bohrmaschine, von dem Franzosen Taverdon ausgestellt, welche 25 Proc. mehr

Nutzeffect erzeugen sollte, als eine durch comprimirte Luft betriebene Maschine.

In dem grossen Etablissement à la belle Jardinière in Paris wird in den obersten Stockwerken eine grosse Anzahl Nähmaschinen durch eine im Kellerraume aufgestellte elektrische Maschine getrieben. Die Uebertragung der Kraft wird dabei durch zwei Kupferdrähte vollkommen erreicht, während eine Kraftübertragung durch Riemen von einer Dampfmaschine aus unausführbar war.

Ein Umstand jedoch tritt bei der elektrischen Kraftübertragung besonders hindernd in den Weg, nämlich der, dass immer ein Theil der im galvanischen Strome enthaltenen Energie sich nothwendig in Wärme umsetzt. Dieser Theil geht für die Nutzanwendung verloren. Alle Versuche, dessen ungeachtet die Uebertragung rentabel zu machen, kommen darauf hinaus, den verloren gehenden Theil der Energie durch besonders construirte Maschinen auf ein Minimum zu reduciren. Dies ist in der That durch Vergrösserung der elektrischen Spannung gelungen, aber dafür fordern die Leitungen eine um so bessere und schwer herzustellende Isolation und gleichzeitig werden die Maschinen lebensgefährlicher.

Die Verwandlung von Wärme in galvanischen Strom können wir mit Hülfe der Thermosäule von Marcus nachweisen. Sie besteht aus einer Anzahl zickzackförmig mit einander verbundenen Streifen aus verschiedenem Metall. Wir erhitzen die obere Reihe der Verbindungsstellen. Die aufgenommene Wärme setzt sich in galvanischen Strom um, der sich durch die elektrische Klingel in kurzer Zeit kundgeben wird.

Um den Umsatz von Bewegungsenergie in Schall zu zeigen, genügt es, dieser Glocke einen Stoss zu ertheilen. Während die schwingende Bewegung des Glockenrandes immer kleiner wird, nimmt die Luft die Energie in Form von Schallwellen in sich auf. Die Schallbewegung selbst geht durch die Reflexion an den Wänden schliesslich in Wärme über.

Noch auf eine andere interessante Weise können wir Schallwellen erzeugen. In dieser Röhre befindet sich eine kleine schwach brennende Flamme. Erhält dieselbe einmal einen Anstoss, so nimmt sie einen explosiven Charakter an. Sie dehnt

sich in der Secunde circa 260 mal lang aus und zieht sich ebenso oft auf ein Minimum zusammen. Bei diesem raschen Wechsel können wir die Veränderungen nicht mehr mit dem Auge verfolgen, wohl aber hören wir den Effect, denn durch den regelmässigen Wechsel wird die Luft in der Röhre in regelmässige Schwingungen versetzt und damit zum Tönen gebracht.

Wir können umgekehrt die Schallwellen benutzen, um Bewegung zu erzeugen. Lassen wir die Flamme ruhig brennen und stellen durch Anblasen einer Pfeife Schallwellen her, so nimmt die Flamme ihren explosiven Charakter an.

Mit Hülfe der magnet-elektrischen Maschine können wir endlich mechanische Energie in Licht umsetzen. Wir verwandeln zunächst die mechanische Energie in galvanischen Strom, den galvanischen Strom in Licht, das Licht concentriren wir durch einen Spiegel auf einen Radiometer und verwandeln damit das Licht wiederum in mechanische Energie. Man sieht ja, in welche rasche Bewegung die drehbaren Flügel des Radiometers durch die Energie des Lichtes versetzt werden.

Auf eine andere complicirtere Weise wird endlich durch vorstehenden Apparat Licht erzeugt. Hier verwandelt sich zunächst in einer galvanischen Batterie chemische Energie in galvanischen Strom, ein Theil von diesem in Magnetismus, ein anderer Theil setzt eine Unterbrechungsvorrichtung in dauernde Bewegung. Der Magnetismus erzeugt sodann in einer zweiten Rolle wiederum einen galvanischen Strom, den Sie nun als Funkenstrom wahrnehmen. Bei jedem Schlage, den Sie hören, haben sich alle einzelnen Verwandlungsprocesse vollzogen. Lassen wir den Funkenstrom durch eine beinahe luftleere Röhre gehen, so beobachten wir die schönsten Farben, welche mit denjenigen des Sonnenspectrums concurriren können.

Ebenso, wie sich bei diesen wenigen Versuchen die Unzerstörbarkeit, aber dabei doch die Verwandelbarkeit der Energie gezeigt hat, so findet sich dasselbe bei allen physikalischen Erscheinungen ganz allgemein. Freilich muss man zugestehen, dass bis jetzt verhältnissmässig nur wenige Umwandlungsprocesse nach Maass und Zahl verfolgt worden sind. Es hat dies seinen Grund in der Schwierigkeit, das Licht, den Schall, die Wärme u. s. f. zu isoliren, Verluste zu vermeiden oder sie wenigstens genau in

Rechnung zu bringen. Aber fast jeder Tag bringt uns dem Ziele näher, und bald wird das Gesetz von der Erhaltung der Energie dasjenige Princip sein, aus dem sich alle Naturerscheinungen ableiten lassen. Und wem verdanken wir dieses die ganze Welt umfassende Princip? Gewiss zum guten Theil den Bemühungen, Bewegung ohne Triebkraft herzustellen. Durch sie wurde man darauf geführt, die Gründe zu untersuchen, weshalb alle Versuche fruchtlos bleiben mussten. Wir verdanken das Gesetz der Erhaltung der Energie dem Perpetuum mobile.

Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn in Braunschweig.

# Reden,

## gehalten in wissenschaftlichen Versammlungen

und kleinere Aufsätze vermischten Inhalts

von **Dr. Karl Ernst von Baer,**

weil. Ehrenmitglied der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St. Petersburg.

**Zweite Ausgabe.** Drei Theile. gr. 8. geh. Preis 16 *M.*

Einzel-Preise:

Erster Theil: **Reden.** Zweite Ausgabe. Mit dem Bildniss des Verfassers in Stahlstich. Preis 4 *M.* 50 *₰*

Zweiter Theil: **Studien aus dem Gebiete der Naturwissenschaften.** Zweite Ausgabe. Mit 22 Holzstichen. Preis 10 *M.*

Dritter Theil: **Historische Fragen mit Hülfe der Naturwissenschaften beantwortet.** Zweite Ausgabe. Mit einem Kärtchen in Kupferstich und 3 Holzstichen. Preis 9 *M.*

---

# Die mechanische Behandlung der Elektricität

von **R. Clausius.**

(Zugleich zweiter Band des Werkes „Die mechanische Wärmetheorie". Zweite Auflage.)

gr. 8. geh. Preis 6 *M.* 40 *₰*

---

# Die mechanische Wärmetheorie.

## Von R. Clausius.

**Zweite** umgearbeitete und vervollständigte Auflage des unter dem Titel „Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie" erschienenen Buches.

Erster Band. Entwickelung der Theorie, soweit sie sich aus den beiden Hauptsätzen ableiten lässt, nebst Anwendungen. Mit Holzstichen. gr. 8. geh. Preis 8 *M.*

Zweiter Band. Anwendung der der mechanischen Wärmetheorie zu Grunde liegenden Principien auf die Elektricität. gr. 8. geh. Preis 6 *M.* 40 *₰*

---

# Ueber künstliche Beleuchtung.

Vortrag, gehalten auf der zehnten Versammlung des „Deutschen Vereins für öffentliche Gesundheitspflege" zu Berlin am 18. Mai 1883

von Professor Dr. med. u. phil. **Hermann Cohn**

in Breslau.

gr. 8. geh. Preis 50 *₰*

Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn in Braunschweig.

# Die physikalische Technik

oder Anleitung zur Anstellung von physikalischen Versuchen und zur Herstellung von physikalischen Apparaten mit möglichst einfachen Mitteln.

Von **Dr. Joseph Frick.**

**Fünfte vermehrte und verbesserte Auflage.** Mit 998 Holzstichen. gr. 8. geh. Preis 12 *M.*

# Die Lehre von den Tonempfindungen,

als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik.

Von **H. Helmholtz.**

**Vierte umgearbeitete Ausgabe.** Mit Holzstichen. gr. 8. geh. Preis 12 *M.*

# Vorträge und Reden

von **Hermann von Helmholtz.**

(Zugleich dritte Auflage der „Populären wissenschaftlichen Vorträge“ des Verfassers.)

**Zwei Bände.** Mit Holzstichen. gr. 8. geh. Preis 12 *M.* Gebunden. Preis 13 *M.* 25 ₰

# Elektricität und Magnetismus

von **Fleeming Jenkin.**

Mit besonderer Bewilligung des Autors ins Deutsche übertragen von

**Dr. Franz Exner,**

a. ö. Professor der Physik an der Universität zu Wien.

Mit Holzstichen. gr. 8. geh. Preis 9 *M.*

# Handbuch der Elektrizitätsmessungen

von **H. R. Kempe.**

Aus dem Englischen übertragen von

**J. Baumann,**

technischer Assistent bei der Generaldirektion der bayrischen Verkehrsanstalten.

Mit Holzstichen. gr. 8. geh. Preis 8 *M.*

Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn in Braunschweig.

# Das Licht.

Sechs Vorlesungen, gehalten in Amerika im Winter 1872—1873 von

**John Tyndall,**

Professor der Physik an der Royal Institution zu London.

**Autorisirte deutsche Ausgabe herausgegeben durch**

**Gustav Wiedemann.**

Mit Holzstichen und einem Portrait von Thomas Young. 8. geh. Preis 6 *M.*

# Der Schall.

Acht Vorlesungen, gehalten in der Royal Institution von Grossbritannien

von **John Tyndall,**

Professor der Physik an der Royal Institution zu London.

**Autorisirte deutsche Ausgabe herausgegeben durch**

**H. Helmholtz und G. Wiedemann.**

**Zweite Auflage.** Mit Holzstichen. 8. geh. Preis 6 *M.*

# Die Wärme

betrachtet als eine Art der Bewegung von

**John Tyndall,**

Professor der Physik an der Royal Institution zu London.

Autorisirte deutsche Ausgabe, herausgegeben durch **H. Helmholtz** und **G. Wiedemann** nach der fünften Auflage des Originals.

**Dritte Auflage.** Mit Holzstichen und einer Tafel. 8. geh. Preis 9 *M.*

# In den Alpen.

Von **John Tyndall,**

Professor der Physik an der Royal Institution zu London.

**Autorisirte deutsche Ausgabe.**

Mit einem Vorwort von Gustav Wiedemann.

Zweiter Abdruck. Mit Holzstichen. 8. geh. Preis 7 *M.*

Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn in Braunschweig.

---

# Vorlesungen
# über die Wellentheorie des Lichtes.

Von **É. Verdet.**

Deutsche Bearbeitung von

**Dr. Karl Exner.**

Mit Holzstichen. gr. 8. geh. Erster Band. Preis 12 *M.* 40 ₰ —
Zweiter Band. 1. und 2. Abtheilung. Preis 8 *M.* 30 ₰
(Schlussabtheilung unter der Presse.)

---

# Wissenschaftliche Vorträge,

gehalten zu München im Winter 1858 von

Th. Bischoff, J. C. Bluntschli, F. Bodenstedt, M. Carriere, P. Heyse, Ph. Jolly, F. Knapp, Fr. von Kobell, J. von Liebig, F. Löher, M. v. Pettenkofer, W. H. Riehl, L. Seidel, H. v. Sybel, O. v. Voelderndorf, B. Windscheid.

Herausgegeben von **Justus von Liebig.**

gr. 8. geh. Preis 9 *M.*

---

Die
# internationalen absoluten Maasse
insbesondere die
# electrischen Maasse

für Studirende der Electrotechnik in Theorie und Anwendung dargestellt und durch Beispiele erläutert von

**Dr. A. von Waltenhofen,**

K. K. Regierungsrath und Professor etc. an der technischen Hochschule in Wien.

gr. 8. geh. Preis 2 *M.*

---

# Die Lehre von der Elektricität

von **Gustav Wiedemann.**

Zugleich als dritte völlig umgearbeitete Auflage der Lehre vom Galvanismus und Elektromagnetismus.

Mit zahlreichen Holzstichen und zwei Tafeln. gr. 8.

4 Bände broschirt 108 *M.*, in Callico geb. 113 *M.*

BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Weber, Heinrich

Fünf populäre wissenschaftliche Vorträge gehalten in der Aula der Herzoglichen Technischen Hochschule zu Braunschweig

Braunschweig 1887

Phys.sp. 718 l
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11882173-9